



TITLE:

視覚情報処理の基礎的メカニズム  
に関する心理学的研究(  
Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

乾, 敏郎

---

CITATION:

乾, 敏郎. 視覚情報処理の基礎的メカニズムに関する心理学的研究. 京都大学, 1985, 文学博士

ISSUE DATE:

1985-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5445>

RIGHT:

視覚情報処理の基礎的メカニズム  
に関する心理学的研究

京都大学

乾 敏郎

## 要 約

本論文は、1975年以来行なってきた研究の主要部分をまとめたものである。視覚系は並列処理と直列処理（たとえば眼球運動による継時的処理）をくみ合わせて高度なパターン認識能力を発揮している。私は本論文において、3つの処理段階に分け、それぞれの段階における処理様式について考察した。

すなわち、光覚と視力を決定する段階（生理学的には網膜レベル）、特徴抽出をする段階、抽出された情報を統合し記憶する段階である。

第1章では、本研究の歴史的背景を述べ問題点を整理した後、視覚研究の一つの枠組を示した。それは、階層的処理において、一つの処理単位の特性と相互作用という観点で各階層をしらべていくことにより、一つの法則性が見い出せるかもしれないということだ

ある。

第2章では、心理物理学的手法により、光パターン-神経興奮の変換様式について検討を行なった。その結果、中心窩で直径 $d'$ 、偏心度 $10^\circ$ で約 $\frac{1}{2}$ のY型細胞の受容野(中心)と、偏心度 $10^\circ$ 以内で直径 $d'$ でほぼ一定のX型細胞の受容野(中心)が存在することが明らかになった。しかもY型細胞の受容野直径は偏心度と線形関係にあった。フリッカー感度は前者に、視力は後者によって決定されるらしい。また、生後、適切な刺激が与えられない場合、受容野の直径が大きくなる等、受容野特性が低下することが明らかにされた。一方、Y型細胞は受容野中心の直径のおよそ3倍の範囲で抑制性の入力を受けていることが明らかにされた。最後に、これらの結果をヒトとほぼ等しい視力、空間周波数特性をもつアカゲザルの電気生理学的、解剖学的研究と比較した。また、ヒトの解剖学的データを考慮し、Shannonの標本化定理によって網膜



の光信号の復元能力を評価した。

第3章では、特徴検出器が存在する大脳皮質において、網膜位置によらず一定の範囲内で互いに抑制をかけ合っていることが明らかにされた。中心視でしかもある程度微細な処理を必要としない場合、項目の特徴が確率的に独立に処理されていることが明らかにされた。さらに確率的に独立に処理されているにもかかわらず、処理すべき項目数を増加させたとき同じ正答率を得るために必要な提示時間が上昇することを示した。また、選択的処理、2段階処理（すなわち Neisser (1967) の言葉で言えば、前注意過程と集中的注意過程<sup>程</sup>）を実現する神経回路網モデルを提案した。このモデルでは、X-チャンネルとY-チャンネルという時空間特性の異なるチャンネル間の相互作用と各チャンネルを構成するニューロン間の相互作用によってこれらの処理機能を実現している。

第4章では継時的統合過程に関する基礎研

究、特に継時的統合化が可能となるための時空間的拘束条件についての研究、並びに視覚短期記憶の特性に関する研究について述べた。まず、顔の局所情報がある場合とない場合において、同時に見える部分の面積を変化させ顔写真の認知実験を行なった。局所情報がない場合、被験者は全体のイメージを内的に構成せねばならない。全体のイメージを正確に内的に構成できるためには、全体のおよそ半分を同時に処理することが必要であることが示された。また、部分と部分の位置関係はそれらを同時に処理しなければ正確に把握されないこと、顔が階層的ネットワークとして記憶されているならば、第2番目のレベルにおける部分の広さは全体の $\frac{1}{4}$ 以上であることなどが明らかにされた。

次に4コマから構成される線画を継時提示し、その順序を判断させる実験を行なった。その結果、150msの提示で線画の内容は把握されるが、継時入力される線画を処理し、記

憶するためには最低  $280\text{ms}$  の SOA が必要であった。すなわち、通常みられる固視時間に等しいサイクルで処理する必要があることが明らかにされた。

次に、chipman (1977) の方法によって図形の複雑さを規定する量を測定し、それに基づいて複雑さの異なる図形群を作成した。そして、それらの図形の再生および再認課題を行なうことにより、視覚短期記憶の諸特性をしらべた。最後に実験結果を考慮して視覚情報の獲得-忘却過程の数理モデルを提案した。

# 視覚情報処理の基礎的メカニズム に関する心理学的研究

本文	287 ページ
参考文献	41 ページ
図	101
表	27
実験	27

# 目 次

第1章	序論	9.
§1-1.	視覚研究の歴史的背景	9.
1.	神経生理学, 心理物理学と神経還元主義	9.
2.	パターン認識の研究	12.
3.	情報処理心理学と認知心理学	16.
4.	下部側頭葉の生理とgrandmother cell	19.
5.	生物物理学とバイオエクス	23.
§1-2.	問題点の整理と研究目的	27.
§1-3.	引用文献	33.
第2章	光覚と視力を決定する機構	37.
§2-1.	心理学的ならびに生理学的背景	37.
1.	網膜の神経生理学的知見	38.
2.	空間加重特性	43.
§2-2.	空間加重特性による受容野直径の決定	47.

1.	理論的背景	47
2.	実験方法	53
3.	結果と考察	54
§2-3	増分閾と受容野直径との関係に関する検討	56
1.	理論的背景	56
2.	実験方法	59
3.	結果と考察	60
§2-4	2点分離閾と受容野直径	62
1.	理論的背景	62
2.	実験方法	65
3.	結果と考察	66
§2-5	抑制野(受容野周辺)の直径と網膜偏心底度	69
1.	理論的背景	69
2.	実験方法	72
3.	結果と考察	74
§2-6	持続型(X-)チャンネルの受容野	80
1.	はじめに	80
2.	実験方法	81
3.	結果と考察	82
§2-7	X型チャンネルとY型チャンネルの受容野直径の比と視力	84

1.	理論的背景	84.
2.	実験方法	88
3.	結果と考察	89.
§2-8.	異常環境下における受容野特性の変化	
	(I) 視感度と受容野面積	91
1.	はじめに	91.
2.	実験方法	96
3.	結果	97
4.	考察	100.
§2-9	異常環境下における受容野特性の変化	
	(II) 偏心固視眼における視力分布	104.
1.	はじめに	104
2.	実験方法	105.
3.	結果	106.
4.	考察	107.
§2-10	第2章の要約および考察	110
§2-11.	引用文献	115
第3章	特徴抽出過程における処理様式	123
§3-1.	心理学的ならびに生理学的背景	123.
1.	特徴抽出に関する生理学的知見	123

2.	特徴抽出に関する心理学的知見	132.
§3-2.	側方干渉が生ずる範囲と網膜偏心度の関係	140
1.	網膜 - 皮質伝達因子	140
2.	皮質上での側方干渉	146
§3-3.	特徴抽出の確率的独立性	153
1.	理論的背景	153.
2.	実験1. (方法)	155
3.	実験1. (結果と考察)	158
4.	実験2. (方法)	159
5.	実験2. (結果と考察)	162
6.	一般論議	163
§3-4.	メンタルスキミングとそのモデル	169
1.	メンタルスキミングと眼球運動走査	169
2.	神経方程式の基礎	172
3.	メンタルスキミングの実験結果	175
4.	メンタルスキミングのモデル	178
5.	グローバルモデル	191.
§3-5.	第3章の要約および考察	196
§3-6.	引用文献	198
第4章	継時的統合過程と視覚短期記憶	212



§4-1.	心理学的背景	212
1.	継時的統合過程について	212
2.	視覚的イメージと視覚短期記憶	218
3.	読書および絵の認知における有効視野	220
§4-2.	顔の認知における刺激提示面積の効果(I)局所 情報が存在する場合	227
1.	はじめに	227
2.	実験方法	232
3.	結果および考察	235
§4-3.	ボケの度合と認知能力	240
1.	実験方法	240
2.	実験結果	241
§4-4.	顔の認知における刺激提示面積の効果(II)局所 情報のない場合	243
1.	実験方法	243
2.	結果および考察	244
3.	一般論議	245
§4-5.	網膜色素変性症患者における長さの比較能力 — 人工的視野制限との比較 —	250
1.	実験方法	250

2.	実験結果	- 253
3.	考察	- 254
§4-6.	継時処理における時間的制約条件について	- 258
1.	はじめに	- 258
2.	実験方法	- 263
3.	結果	- 266
4.	考察	- 267
§4-7.	視覚記憶の基礎過程(I)パターン情報の獲得過程について	- 271
1.	はじめに	- 271
2.	実験方法	- 274
3.	結果	- 278
4.	積分曲線による回帰と学習速度	- 279
§4-8	視覚記憶の基礎過程(II)忘却率の測定および情報獲得のモデル	- 281
1.	実験方法	- 281
2.	結果	- 282
3.	考察	- 283
4.	視覚短期記憶のモデル	- 284
5.	視覚長期記憶への獲得過程のモデル	- 286

6.	モデルの検討	287
§4-9.	視覚記憶の基礎過程(Ⅲ)再認法による獲得および忘却過程の検討	292
1.	実験方法	292
2.	結果	297
§4-10.	第4章の要約および考察	290
§4-11.	引用文献	295
第5章.	結 び	318
Appendix	実験装置	328
謝 辞		335

# 第1章 序 論

本論文は視覚情報処理の基礎過程に関する研究をまとめたものである。本章では本研究の歴史的背景を述べ、問題点を整理する。

key word 情報処理、過程と構造、階層システム、並列処理  
競合と協調、構成主義

## § 1 - 1. 視覚研究の歴史的背景

### 1. 神経生理学、心理物理学と神経還元主義

視覚研究の2世紀に行われた Galen による眼球の解剖学的研究に始まると言われている (le Grand, 1975)。しかし視覚系の研究は、8世紀になってようやくアラビアでの眼科的研究として進められに。

眼光学系の研究は、kepler(1571-1630)による光学的法則の発見によってさらに進歩した

が、網膜の解剖学的研究は17-18世紀になり、  
てようやく開始された (Leeuwenhoek, 1674;  
Buzzi, 1782)。一方、視神経が視覚領に到達  
するまでの経路は Gratiolet (1854) により、  
じめて詳しく記述された。このように、19世  
紀後半、心理物理学が創始されるまで、視覚  
の研究は主として、物理学者と生理学者によ  
って行われてきた。

電気生理学的研究は、1953年の kuffler によ  
るネコの神経節細胞の研究によって飛躍的に  
進歩する。彼の研究によって、単一の神経細  
胞は網膜の特定領域のコントラストを検出レ  
ていることが明らかにされた。

視覚系の単一ニューロンの電気生理学的研  
究によって以下の事項が明らかにされた。

1. 各々のニューロンの出力はいわゆる  
Weber の法則に従う。
2. 網膜および外側膝状体のニューロンは  
円形の受容野をもち、局所的なコント  
ラストを検出している。

3. 視覚領のニューロンは、さまざまな方向の細長い受容野をもち、線の方角を検出している。
4. 視覚ニューロンは、局所的なコントラストの強調を行なう。
5. ニューロンの特性によ、て一部の感覚・知覚現象が説明されうる。

これらの知見は、さまざまな現象の記述に終始していた心理物理学に新しい方向づけを行なった。実際、さまざまなほとんど考えられていなかった線や空間格子等を用いた研究が数多く報告された。上記の5番目の事項は、Hartline と Ratliff (1957) Ratliff (1965)の研究に始まると言えよう。彼らはカブトガニの複眼で見いだされた個眼間の側抑制によ、て Mach バンドが説明できると報告した。その後、種々の錯視現象をニューロンの特性とニューロン間の相互作用によ、て説明する試みが次々と報告された。これらの考え方は神経還元主義 (neuro-reductionism) と呼ばれる。

神経還元主義的研究の中にも、けっして単一のニューロンの特性とニューロン間の相互作用という形で知覚現象を説明しようとするものと、局所的なニューロン集団特性によって説明するものがある

いすかにせよ、視覚系の生理学的研究によって、1960年以降心理物理学的研究においても、情報処理メカニズムの研究ということがけっして意識されてきた。

## 2. パターン認識の研究

雑音に埋もれた画像を見やすくしたり、特徴線分を抽出する方法に関する研究を画像処理 (image processing)、特徴が得られたものとしてパターンの分類法や同定のアルゴリズムを考える研究をパターン認識の研究と呼ぶ。文字認識装置を最初に作成したのは、ドイツのタウシェックで1929年のことである。1960年代に入って盛んにこの分野の研究がなされた

。その結果、パターン認識の過程は、特徴抽出過程と識別決定過程に大別されることが広く認められ、それぞれ数多くのアルゴリズムが考えられた(図1)。我が国においても1971年から8年間にわたって第4世代の計算機の開発が大型プロジェクトとして取り上げられた。

この分野での1つの重要な結果は、1950年代に米国で始められ、1969年 Guzman によって研究され、Waltz (1975) によって集大成された積み木の世界(block world)の認識である。すなわち図2に示すように互いに重なり合い影もある積み木の二次元画像に対して(影の線も含めて)線の正しい解釈を行なうプログラムの開発であった。Waltz (1975)はまず11種類の線の解釈を考えた(図3)。次に頂点を考えると線の組合せは物理的拘束が働いて制限される。たとえば図4に示すような組合せはあり得ない。このような物理的拘束を考えると現実の線の組合せは、全体の組合せの0.003%しかない。



争が明らかにされた(図5)。さらに頂点を組合せて検討するとさらに可能性が減り最終的には1つの答に到達した。

彼の方法で重要なことは以下の3点である。

1. 物理的拘束条件を考慮に入れると可能性を急速に下げられることを示した。
2. 局所的にあいまいな情報をまわりとの関係から全体として矛盾しない唯一解に到達させる。
3. 従来、問題を複雑にすると考えられていた影の情報を積極的に取り入れた。

2の方法は、その後弛緩法 (relaxation method; Rosenfeld et al., 1976) として発展した。

一方、初期のパターン認識では特徴リスト (特徴ベクトル) が次元特徴空間のどの領域に入るかを判定する方法がとられていた。これは対象が非常に限定されたときに有効であるが、複雑な構造を有するパターンに対しては適しておらずパターンの構造を適確に

記述する必要性が生じた。1960年代から構造的パターン認識の研究が進められたが、どのような表現形式をとればよいのかそれは今日でもほとんどわかっていない。構造認識の難しさを長尾(1979)は次のように述べている

「少しずれてくる構造間のマッチングをとるにはどうしたらよいかについてほとんど良い方法がない。これは句構造文法の場合もグラフ構造の場合においても同じである。グラフ構造においてわずかに elastic matching があるのみである。構造の近さを決めるという問題は難しい。全体の構造が平均的にますますマッチングするという場合でなくともマッチングがとれたと考える必要があることも多い。----- (中略) ----- それには、まずわかっていない範囲の対象物を区別するにたる構造部分と何かを知ることである。逆に言えば、どの部分についてどれだけ広い部分構造をとれば他と区別するに十分なものとなる、とい

るかもまず検出することであろう。その計量的な一致度を導入することが必要である。もしそのうちの部分がみつからない場合、全体の構造がどの程度似ているのか、elastic matchingの伸縮を全体としてどの程度行なわなければならないかを測ることであろう……。」

パターン認識の研究から以下の事項が明らかにされた。

局所的なコントラストを検出するような単純な手法では、画像から特徴となる輪郭線は抽出することは不可能であることが明らかにされた。複雑な光景から主要な輪郭線を抽出するためには対象の知識や推論機能が必要である。

### 3. 情報処理心理学と認知心理学

1960年頃を境にして、心理学の別の分野において大きな変革が見られた。それは、人間を「外界の情報を獲得し、貯蔵する情報処理システム」とみなし、その情報処理の「過程」

と処理された情報の「構造」についての理論を構築しようというものである。このような研究は、情報処理的アプローチとか、情報処理心理学と呼ばれる。このようなアプローチは特に認知心理学と呼ばれる分野で盛んである。私自身は、前節で述べた心理物理学の分野においても上記のような立場から進める場合には情報処理心理学と呼んでいる。それまでのいわゆる行動主義的研究では、人間を「black-box」とみられ、入力と出力の関係をしらべるといふ方向で進められてきた。したがって、言うまでもなく反精神主義 (anti-mentalistic) である。

一方、認知心理学は心の科学である。認知心理学では、我々が

(i) 何を知っているのか (what we know)

(ii) それをどのように利用し、獲得するのか、  
(how we know)

という問題をおっかう。現在この分野では、black-box的考え方は完全に姿を消し、それに

かわって、処理過程と情報構造の解明が主たるテーマとなっている。具体例を示せば

(i) 記憶の種類とそれらの相互作用

(ii) 知識の構造

(iii) 記憶検索の問題

などが挙げられる。

情報処理的アプローチが盛んになってきた一因として構造主義の影響があげられる。構造主義的観点に立てば、行動現象（すなわち表層構造）は直接観察できない深層構造によってひきおこされる。したがって人間理解のためのいかなる理論的枠組も深層構造に基づかねばならずその構造の発見が心理学の究極的目標となるのである。認知心理学の分野においても、特に反応時間の研究からそれまでの行動主義的観点の限界が指摘され、より能動的な処理系として人間をみるべきことになり始めた。Leonard (1958)、Fitts と Switzer (1962) の研究がその代表例であろう。

現在、人間の情報処理過程は基本的に図6

に示されたようになら、ていゝと考へられていゝる。いまや人間の情報処理的アプローチは非常に広く受け入れられてゐるが最後にコンピュータ科学者 Weizenbaum (1976) の言葉を引用しておく。「人間を情報処理システムとみゝることそれ自体は、人間性を取り去ることにゝならない。かゝ、て、人間性の一局面をより深く理解することにつなゝり、人類への貢献をすることになるかもしれない。たとえば、人間の霊性を理解する上に、人間を情報処理体としてあつかう理論が説明し得る限界を知ることゝはきわめて重要である。」

#### 4. 下部側頭葉の生理と grandmother cell

一般に後頭葉を切除すると視野欠損が生じ、失明状態になる。いわゆる要素的視感覺障害をうける。一方、下部側頭回を切除すると、視覚失認が生ずる。

視覚信号の経路は、まず第1次視覚領から視覚前領野 (OA + OB または 18野 + 19野) を経

て、下部側頭回 PH 領野 ( $M$  野) に達し、さらに TE 領野 ( $M+M'$  野) にいたる。

下部側頭葉が、視覚のパターン認識に重要な役割を果たしていることは言うまでもないが、その詳しい機構については明らかではない。サルの研究からいくつかの仮説が提出されている。Gross (1970) は、下部側頭葉は、上丘-視床枕系の情報 (刺激に対し、眼と頭がどういう位置にあるのか) と外側膝状体-後頭葉系の情報 (パターンの分析) を統合しているのではないかと考えた。これを入力統合仮説 (input-combining) と呼ぶ。一方、Pribram ら (1972) は下部側頭葉による情報の選択的処理機能を強調している。また Inui ら (1978) は、視覚領から並列的に出力される情報を上丘-視床枕系が gate control して選択された情報が下部側頭葉で継時的に処理されるモデルも提出している<sup>1</sup>。

視覚失認とは、視覚路系のみを通じての外界の対象認知の障害である。これは、視対象

(脚注1) §3-4 参照。

の知覚障害とも、視対象に対する連合機能障害またはその意味把握障害とも言えるもので、この背景にはス過程のいずれかまたは両者の障害がある（岩井ら、1977）。岩井らに、サルの各種視覚弁別学習に対する各部位の傷害の効果から

(i) 下部側頭回の視覚失認発現の病巣である。

(ii) この領域のいずれの小部分損傷によっても視覚失認は発現する。

(iii) TE 領野損傷によっても、連合機能や視対象のもつ意味把握の障害を基本症状とする視覚失認が発現する。

(iv) PH 領野損傷によっても、視知覚障害を基本症状とした視覚失認が発現する。

と結論している。

下部側頭回のニューロンの中には、サルの手（の形をしたもの）にのみよく応答するものがあると Grossら（1972）が報告した。サルの手にのみ特異的に応答するということは、こ



のニューロンが、サルの手を認識していると考えられ、Grand mother cellとか、Yellow volks wargen detector とか呼ばれた。これは、1つの認識対象に対して1個のニューロンが存在するという仮説を提出する。これはちょうど、分子生物学で、高等動物には特定の抗原に対して1つの抗体が対応する（分子認識と呼ばれている）という考え方に対応するものであろう。確かに、下等動物では、Prey detector や Predator detector というものがあることはわかっていて、しかし、こういった要素論的考え方はおそらく高等動物においては誤りであろう。

古く Sherrington (1941) は、脳全体のシステムを統合するニューロンという意味で、Pontifical cell (教皇細胞) という言葉をつかったことがある（彼はこの考え方を主張したわけではない）。Barlow (1972) は、1つの知覚に1つのニューロンが対応しているという考え方を修正し、1つの物に対応する Cardinal cell (枢機卿

細胞)というものを考え、これらのニューロンの組み合わせが知覚に対応しているのではないかと考えた。その後の生理学的研究でもこのような考え方をする研究者が多い。

### 5. 生物物理学とバイオ = クス

物質の状態がある温度を境にして急激に変化する現象を相転移と呼ぶ。たとえば氷は $0^{\circ}\text{C}$ を境にして液体から固体へと変化する。また一般に強磁性体と呼ばれるもの、たとえば鉄などは温度を上げていくとある温度を境にして急に磁石の性質を失ってしまう。この転移温度はキュリー点と呼ばれ、 $1043^{\circ}\text{C}$ である。これは1つ1つの原子が磁石としての性質をもっており、同じ方向に向いているときは全体として磁石の性質をもつが、温度を上げていくとバラバラの方向を向くからである。このような相転移現象は、個々の分子が引き合う力と個々の分子がバラバラに運動しようとする力のバランスによって生ずることが明

らかにされてきた。これらはいわゆる熱平衡状態での現象であるが、1940年代から非平衡の熱力学が研究されるようになってきた。そのような開放系の中にもマクロな秩序状態 (ordered state) が観察される。たとえばベナール Benard の対流パターンや特殊な化学反応によって生ずる時空間パターンである。後者の代表例は、1959年に Belousov によって発見され、70年代にその詳細が明らかにされた Belousov-Zabotinsky 反応であろう (図7)。この反応では生成される物質の空間パターンの形成や時間的振動現象が現われる。非平衡系におけるこのような振動現象は、生体リズムとの関連で、また空間パターンの生成は、生物の形態形成 (morphogenesis) の研究に大きな影響を与えた。これから述べてきた現象はすべて系の微視的な部分間を結びつける相互作用がはらばらに働かず広い範囲にわたって足並みをそろえて働いており協同現象 (co-operative phenomena) と呼ばれている。

エネルギーの流れを併たう非平衡系の動的な秩序構造を散逸構造 (dissipative structure) と呼ぶ。Prigogine らによつて発展した非平衡熱力学 (Gransdorff & Prigogine, 1971) や協同現象という考え方によつて生物物理学に進められてつた。Haken 教授は 1970 年の講演で初めて synergy という言葉を使った。synergy とは全体的な効果に寄与する各要素の協力的な作用を意味している。協同現象はサブシステムの協力によつて系全体に新しい特性が生ずることを示している。Haken はこのような観点に立つて多くの現象を分析しようとし、synergetics と呼ばれる研究分野を提唱している (たとえば Haken, 1980)。synergetics とはギリシャ語で協力に関する科学という意味である。このような考え方が知覚研究も進められたいかという提言もなされている (Szentagothai & Arbib, 1975)。

一方、神経回路網の数理的研究は 1943 年 Pitts と McCulloch に始まる。彼らは神経細胞の

情報処理様式を表わす M-P 方程式を示し、この素子を用いるといかなる論理回路も設計できることを示した。その後70年代の前半まで多くの神経回路の数理的研究が行われた。主要な研究は

1. 神経回路網による学習の数理的研究
2. 連想記憶のモデル
3. 統計神経力学

である。1の研究から、シナプスでの可塑的变化によって信号間の相関値にシナプス荷重が変化することが示され、2の研究と結びつけられた。一方、3の研究は、甘利(1978)によって集大成された。これらの数理的研究では、個々の神経細胞間の「競合と協調」関係によってグローバルな系の特性がどう導き出されるかが明らかにされた。これらの研究成果は今後認知心理学にも応用されると思われる (Hinton & Anderson, 1981)。

## §1-2. 問題点の整理と研究目的

以上述べたように、数多くの分野の研究から直接あるいは間接に人間の視覚情報処理に関する知見や問題点が明らかにされてきた。それらを今一度整理してみよう。

まず計算機科学の一つの貢献は、刺激パターンからその特徴を抽出することが非常に難しいということを示したところである。換言すれば、刺激パターンの単純化されたスケッチを描くことが、単にコントラスト等の変化量からではほとんど不可能であり、「特徴抽出」(情報処理)過程がいかに重要であるかが認識されたのである。高次の処理になればなる程、それは概念推進型 (conceptually driven; Norman & Bobrow, 1975) であるという証拠は数多く見られる。たとえば、1838年 Whitstone が実体鏡を発明した後、1877年に Austin は Charles Darwin に次のような手紙を送っている。「左右別々に異なる女性の顔を見ると、必ずスナリも

美しい顔が見えやす」と。 Darwin は Francis Galton に手紙を送ってこのことが確認された。このように程度の差はあれ、刺激に対して直接的に知覚が生ずる (direct realism; Gibson, 1966) のではなく、むしろ内的に構成されたものである。

一方、生理学的研究から視覚情報に並列的に特徴が処理されること、階層的に処理が進んでいくことが示された。また、パターン認識の研究においても、生理学的研究からも、局所的に処理された情報から全体への統合過程の中で個々の処理体間の相互作用、すなわち協調と競合が生じて1つ組織化に到達するらしいことが示唆された。それでは、具体的に入力パターンに対していかなる操作が施されているのであろうか。この点については未だに不明な点が多い。それは果たして現在の生理学的手法で明らかにされるのだろうか。たとえば、生理学的あるいは解剖学的研究から少なくとも低次の神経細胞がいかに (how)

作動するかは明らかになるであらうし、部分的に明らかにされてきた。しかし、Marr(1982)も指摘するようになぜ(why)そのような特性がその神経細胞にそなわっていつけなければならぬのかという事は明らかに出来ない。そのためにパターンの計算理論(computational theory; Marr, 1982)が必要である。

一般に生理学的研究は要素論的である。この考えの極端がいわゆる、grandmother cell とか Yellow-volks wagen detector と呼ばれるものである。このような考え方に対して筆者は強い疑問を感じる。第1の理由は、もしそのような複雑な形を検出する神経細胞があつて、実在物と1対1対応をしているとすれば、無限に多くの検出細胞が必要になると考えられるからである。第2に、より複雑な光景のイメージはどのような細胞活動を考えればよいのか不明である。単に検出細胞の組合せでよいのだろうか。第3の理由は、パターン構造はどのように把握されるのかということである。



同じ図形を見てモパターン構造するわけ部分間の関係の表現が人によって異なることは多いにありうる。このような関係を把握して我々はパターンを知覚するのであるがこの点が明らかでない。このような理由で1つのパターンの視覚イメージは脳内の神経細胞の階層的ネットワークとして捉えるべきではないだろうか。もし grandmother cell があるとしても、再びなぜ存在するのか、いかにして低次の細胞群からそのような機能が実現されるのか明らかではない。

現在計算機科学の分野では種々のパターン認識のアルゴリズムが考案されている。しかしその多くは個々の限られた刺激集合に対してはかなり高い認識率を出せても、アルゴリズムが特殊であり、容易に一般化することはできない。これはパターン認識の基礎理論、Marr (1982) の言葉で言えば計算理論がないためである。

生理学的研究は60年代飛躍的な進歩をとげ、

低次の処理様式についてはある程度明らかにされた。しかし、より高次の処理様式も明らかにされるかもしれないという期待がある。にも関わらず70年代には見るべき成果は得られなかったといってしまう。これもまた同様に高次情報処理様式に関するモデル(仮説)がないためであると考えられる。

情報処理的アプローチ特に認知心理学の分野では過去20年間に計算機科学の影響を受けて急速に進歩してきた。その目標は情報処理の過程(process)と処理された情報の構造(structure)について実験データを最良推定するような理論の開発である。感覚レベルから記憶レベルまで、視覚系は複雑な階層システムであるが、各々の階層における基本的処理様式を明らかにすることが本論文の目的である。特に処理単位と相互作用という観点に立て論ずる。

第2章では、光パターンを神経信号に変換する受容器部における処理単位である神経細

胞の受容野特性とその相互作用を心理物理学的手法により明らかにし、光パターンから神経信号へのグローバルな変換方式の基礎を与える(図8)。

第3章では特徴抽出過程における処理様式について心理学的手法によって明らかにし、併せて神経回路網モデルを提案する(図9)。

第4章では継時的統合過程と視覚短期記憶の諸特性についてしらべ、視覚イメージの形成と忘却の過程について考察する(図9)。

### §1-3. 引用文献

- 1) 甘利俊一(1978) 神経回路網の数理 — 脳の情報処理様式 —  
産業図書
- 2) Barlow, H.B. (1972) Single units and sensation: A neuron doctrine for perceptual psychology. *Perception*, 2, 371-394.
- 3) Fitts, P.M., and Switzer, G. (1962) Cognitive aspects of information processing : The familiarity of S-R sets and subsets. *Journal of Experimental Psychology*, 63, 321-329.
- 4) Gibson, J.J. (1966) The senses considered as perceptual system. Boston: Houghton Mifflin.
- 5) Gransdörff, P., and Prigogine, I. (1971) Thermodynamic theory of Structure, Stability and Fluctuations, Wiley-Interscience, New York.
- 6) Gross, C.G., Rocha-Miranda, C.E., and Bender, D.B. (1972) Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 35, 96-111.
- 7) Guzman, A. (1969) Decomposition of the visual field into three-dimensional bodies. In A Grasselli (Ed.), Automatic interpretation and classification of images. New York: Academic Press.
- 8) Haken, H. (1980) Synergetics: Are cooperative phenomena governed by universal principles?
- 9) Hartline, H.K., and Ratliff, F. (1957) Inhibitory interaction of receptor units in the eye of limulus. *Journal of General Physiology*, 40, 357-376.
- 10) Hinton, G.E. and Anderson, J.A. (1981) Parallel Models of Associative Memory. Lawrence Erlbaum Associates.

- 11) Inui, T., Kawato, M., Suzuki, R. (1978) Mechanism of mental scanning in foveal vision. *Biological Cybernetics*, 30 , 147-155.
- 12) 岩井 栄一 (1971) 視覚失認. *神経研究の進歩*, 15 , 71-86.
- 13) Kuffler, S.W. (1953) Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology*, 16 , 37-68.
- 14) Le Grand, Y. (1975) History of research on seeing. In E.C. Carterette and M.P. Friedman (Eds.) *Handbook of Perception*, Vol.5, Academic Press: New York.
- 15) Leonard, J.A. (1958) Partial advance information in a choice reaction task. *British Journal of Psychology*, 49 , 89-96.
- 16) Marr, D. (1982) *Vision*. W.H. Freeman and Company.
- 17) 長尾 真 (1979) 画像の理解と認識における諸問題.  
電子通信学会技術研究報告 AL 79-80, 1-8.
- 18) Norman, D.A., and Bobrow, D.J. (1976) On the data limited and resource-limited process. *Cognitive Psychology*, 7 , 44-64.
- 19) Pitts, W., and McCulloch, W.S. (1947) How do we know universals: The perception of auditory and visual forms. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 9 , 121-147.
- 20) Ratliff, F. (1965) *March bands: Quantitative studies on neural networks in the retina*. San Francisco: Holden-Day.
- 21) Rosenfeld, A., Hummel, R.A., and Zucker, S.W. (1976) Scene labelling by relaxation operation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 6 , 420-433.

- 22) Szentágothai, J. and Arbib, M.A. (1975) Conceptual Models of Neural Organization. MIT Press.
- 23) Waltz, D. (1975) Understanding line drawings of scenes with shadows. In P.H.Winston (Ed.) The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill, New York.
- 24) Weizenbaum, J. (1976) Computer Power and Human Reason. W.H. Freeman and Company.
- 25) Winston, P.H. (1975) The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill, New York.

## 第2章 光覚と視力を決定する機構

本章では光覚や視力などの基本的感覚がいかなる機構によつて決定されるのかという点について考察する。

key word : Riccoの法則、受容野直径、CFF、抑制野、X細胞、Y細胞

### § 2-1. 心理学的ならびに生理学的背景<sup>1</sup>

光覚や視力に関する研究の歴史は長い。今世紀の初頭、光が粒子的性質をもっていることが明らかになると同時に、絶対暗順応下ではいったい何個の光量子 (photon) が眼に入れば光覚が生ずるのかが研究された (Zwardemaker, 1905; von Kries, 1907)。このような光覚閾に関する心理物理学的研究は、その後生理学的研究と比較されながら進歩した。

(脚注1) 乾敏郎、三村治 (1981) および、乾敏郎、三村治、宮本健作 (1981) 参照



光覚閾における代表的な法則は、Ricco (リッコ) の法則である。小さな光点に対する明るさの閾値  $\Delta I$  を測定すると、光点の面積  $S$  がある臨界値  $S_c$  以下であれば、

$$\Delta I \cdot S = \text{一定}$$

の関係が得られる。これは、光エネルギーが完全に加重されていることを示しており Ricco の法則と呼ばれている。  $S_c$  は、visual unit (Hallett, 1962) あるいは Ricco's area と呼ばれる。生理学で知られる受容野中心<sup>部</sup> (receptive field centre) に対応している。実際網膜神経節細胞の受容野中心<sup>部</sup>においては、Ricco の法則が成立するのである (Cleland & Enroth-Cugell, 1968)。

以後、心理学的実験によって得られたデータと生理学的データとを比較検討するため、まず若干の生理学的知見をまとめておく。

## 1. 網膜の神経生理学的知見

Kuffler (1953) によって哺乳類 (ネコ) の単

一の神経節細胞（これは網膜の出力細胞であり、その信号は軸索を伝播し中継核である外側膝状体に達する）の生理学的特性がはじめに明らかにされた（図 10, 11）。それによれば、神経節細胞は受容野（receptive field）と呼ばれる網膜上の特定の範囲内に照射された光に対してのみ応答する。すなわち各々の神経節細胞は網膜上の特定の領域のみをモニタリングしているのである。また受容野の大きさは背景光の強度を増せば小さくなることも明らかにされた。各細胞の受容野は on または off 反応（点滅する光刺激の点（on）に応答するのが on 反応、減（off）に応答するのが off 反応である）のどちらかを発生するほぼ円形の受容野中心<sup>部</sup>と、その中心にみられた反応とは逆の反応を生ずる輪状の周辺<sup>部</sup>から構成されている。神経節細胞の約半数は中心<sup>部</sup>に on 領域を、周辺<sup>部</sup>に off 領域を持ち、残りの半数はこれと逆の特性を持つている（kuffler はそれぞれ on 中心型、off 中心型と名付けた）。特徴的なこ

とに、この両型とも中心と周辺領域がそれぞれの刺激により相互に抑制し合う。すなわち、受容野全体への光照射は何らの反応も生じないが、中心あるいは周辺領域の片方へのみ刺激を提示した時の反応より小さい反応が生じる。

一方、on中心型、off中心型の分類とは別に、視覚刺激に対する反応と軸索の活動電位の伝導速度および細胞の大きさから3種の神経節細胞が同定されている。第1のタイプはX細胞または持続型細胞 (sustained cell) と呼ばれるものであり、第2のタイプはY細胞または過渡型細胞 (transient cell) と呼ばれるものである。第3のタイプはW細胞と呼ばれている。X細胞は伝導速度の遅い (約20~25m/s) 細い軸索を持ち、静止スポット光に対して持続的 (sustained) な反応を示す。さらに、この細胞は比較的小さな受容野を持ち、低速の刺激移動によく反応する。

これに対して、Y細胞は伝導速度の速い (

約35～43%）太い軸索を持ち一過性(transient)の反応を示す。さらに、この細胞はX細胞より大きな受容野を持ち、広い範囲の刺激移動速度に応答する。アカゲザルの神経節細胞は、26種類に分けられている(De Monasterio と Gouras, 1975)。主なものを表1に示す。空間加重特性(De Monasterio, 1978)と伝導速度(De Monasterio ら、1976)から、color-opponent 型ニューロンはX細胞であり、broad-band 型はY細胞であることが明らかにされた。color-opponent 型ニューロン、たとえば  $R^+/G^-$  は、受容野中心<sup>部</sup>に赤色の単色光が提示されると応答し、受容野周辺<sup>部</sup>に緑色の単色光に対して抑制的な off 反応を起こす。broad-band 型ニューロンは受容野中心<sup>部</sup>および周辺でその波長選択特性は同一であり、しかも鋭くはない。broad-band 型は2種以上の錐体から興奮性の入力があると同時に杆体からも入力を受けている(Gouras, 1968)。1種類の錐体から興奮性の入力を受けている color-opponent 型

ニューロンは、平均受容野の大きさが3.6'で、網膜位置によらず(偏心度 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ )一定である。De MonasterioとGouras(1975)は、これらのニューロンが1個の錐体から入力を受けている midget ganglion cell だろうと推測している。color-opponent 型ニューロンも、白色光刺激では通常の ON-中心型あるいは OFF-中心型ニューロンと同様に活動する。

一方低い順応レベルにおいては、その神経節細胞の受容野の周辺部の割合が減少し、見かけ上受容野中心部の直径が大きくなることが知られている (Barlowら、1957; Rodieck と Stone, 1965; Enroth-Cugell と Robson, 1966) サルの神経節細胞においても同様の事実が確かめられている (Wiesel と Hubel, 1966; Marrocco, 1972)。しかも、応答の潜伏時間は長くなり (Levick, 1970)、持続型の応答をするようになる (Clelandら、1970)。これに対応してヒトの心理実験から、空間周波数特性の低域での低下が見られなくなり (Kelly, 1972)。

フリッカー感度が低下し (Smith, 1930)、見かけの大きさ (心理的に知覚される大きさの錯視) や空間周波数が大きくなる (Virsu, 1974; Virsu と Vuorinen, 1975)。また空間加重領域が広くなる (Glezer, 1965)。Glezer (1965) は中心窩の順応レベルと空間加重領域の関係を調べている。

## 2. 空間加重特性

既に述べたように Plank の量子仮説が出てすぐ、ヒトが知覚できる最小光量子数が測定された。Zwardemaker (1905) は、25～150の光量子が眼に入れば光が知覚されると報告している。初期の研究で最も精度の高いのは、von Kries (1907) のもので、34～68個という数値である。通常、同じ強さの光が提示されても、それが閾値付近であれば、光覚は確率的に生じ、見えたり見えなかったりする。従来、光覚閾のゆらぎは受容器側の感度のゆらぎであると考えられてきた。しかし、Hecht

ら(1942)は光覚閾のゆらぎはむしろ刺激光のゆらぎであると考へ、光覚が生ずるためには、何個の光量子が網膜受容器に吸収されればよいかを検討した。これらの研究は、背景光が全くない条件での光覚閾で、一般に絶対閾(absolute threshold)と呼ばれるものである。しかし、背景が明るいときには、光覚が生ずるためには、いっそう大きなエネルギーが必要となる。背景光の明るさ( $I$ )より光刺激( $\Delta I$ )がどれだけ明るければ光覚が生ずるかが問題となる。この値は増分閾(increment threshold)と呼ばれる。背景が $10 \text{ cd/m}^2$ より明るいとき、背景の明るさ( $I$ )と増分閾( $\Delta I$ )の関係は比例し、これは Weber の法則と呼ばれている。Bouman(1950)は網膜の耳側 $7^\circ$ の位置で絶対閾は0.04秒の間に16の範囲内で光量子が2個吸収されればよいことを見いだしている。しかし、Barlow(1958)、Hallet, Marriott と Rodger(1962)、Bouman と Blokhuis(1952)、Weale(1958)らによると、 $7^\circ$ の網膜位置では、直径

30°ないし1°の範囲で、完全な空間加重（すなわち Ricco の法則）が成立するという。

Glezer (1965) は、種々の背景輝度で中心窩における空間加重特性をしらべている。刺激光は1sおきに115ms 提示され、被験者調整法により、閾輝度が決定された。なお、直径2.5 mm の人工瞳孔を使用し、刺激光輝度は0.1対数単位ごとに変化させた。図12は Glezer (1965) の結果である。Bφ は背景輝度を、ΔBは刺激光に対する閾輝度を、Sは刺激光の面積を示している。したがって、縦軸は閾エネルギーを横軸は刺激光面積である。刺激光面積が小さいときは閾エネルギーが面積によらず一定であることがわかる。これは、既に述べたように Ricco の法則が成立しており、完全加重 (complete summation) と呼ばれている。一方、刺激光の面積が大きくなると刺激面積の増加とともにほぼ傾き1で閾エネルギーが上昇している。これは、刺激面積によらず閾輝度が一定であることを意味し、非加重 (non-



summation) と呼ばれている。したがってデータは背景輝度が低い場合を除いて水平の直線と傾き 1 の直線で近似できる。2 直線の交点から近似的に空間加重が完全な領域(以後空間加重領域と呼ぶ)の面積が算出できる。図から暗所視(scotopic vision)の場合、空間加重領域の面積はほとんど変化しないが、薄明視(mesopic vision)および明所視(photopic vision)レベルでは背景光の輝度の上昇とともに面積は減少してゆくことがわかる。

## § 2-2. 空間加重特性による受容野直径の決定<sup>1</sup>

§ 2-1 で述べたように閾値一面積曲線から空間加重が成立する臨界面積が求められる。この臨界面積と神経細胞の受容野との関連性についてまず考察を行おう。次に、赤外線眼底視野計を用いて臨界面積と網膜偏心度との関係についてしらべる。最後に実験から得られた受容野直径とアカゲザルの神経節細胞のそれとを比較する。

### 1. 理論的背景

生理学的研究から単一の網膜神経細胞の受容野における感度分布は次のガウス関数の差で記述できることが知られている (Rodieck & Stone, 1968; Peichl & Wässle, 1979)。受容野中心<sup>部</sup>の中央からの距離を  $r$ , 受容野中心<sup>部</sup>の最大感度を 1 とすれば感度分布  $G(r)$  は

$$G(r) = \exp(-r^2/\sigma_E^2) - Q \cdot \exp(-r^2/\sigma_I^2) \quad (1)$$

(脚注 1) Inui, Mimura & Kani (1981) 参照。

と表わすことが可能である (図13)。ここに  $O_E$ ,  $O_I$  はそれぞれ受容野中心<sup>部</sup>および周辺<sup>部</sup>の広さを決めるパラメータである。 $Q$  は抑制野の最大感度 ( $Q < 1$ ) である。このとき、刺激  $I(r)$  が受容野に照射されたときの神経節細胞の出力  $O$  は

$$O = H \left[ \int_0^{\infty} I(r) \cdot G(r) dr - \theta \right] \quad (2)$$

と書ける。ここに  $H(x)$  は、ヘビサイド関数<sup>1</sup>であり、 $\theta$  は神経節細胞の閾値である。

いま、 $I(r)$  を光点の輝度として、増分閾  $\Delta I$  と光点の面積 (直径) との関係を計算機シミュレーションによって求めた結果を図14と15に示す。§2-1で述べたように、この曲線は閾値-面積曲線と呼ばれるものである。刺激光が大きい場合はもはや光エネルギーの加重は生じない。むしろ面積が大きくなれば逆に増分閾の上昇がみられる。閾値を低い値に設定するかもしくは  $Q$  の値を大きくすればこの傾向は顕著なものとなる。これは周辺部の

(脚注1)

$$H(x) = \begin{cases} x & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$

抑制が働くためである。しかし、実際に心理物理学的な実験をした場合、刺激光の強度が閾値付近であれば抑制効果がみられない。また生理学的研究からも、閾付近の光強度では、神経節細胞の応答には周辺抑制の効果はみられない (Peichl と Wässle, 1979) のである。また小光点によつて受容野の感度分布を測定すると上述の如くスツのガウス関数で近似されるが、実際に閾値一面積曲線を求めると、細胞の非線形性が働き、小光点の部分での傾きは-1となり完全な空間加重が生ずるのである (Peichl と Wässle, 1979)。図14ではガウス関数を仮定したので傾きは-1よりやや小さくなっている。一般に閾値一面積曲線は周辺抑制が見られないので図14のようにスツの直線で近似できる。しかもス直線の交点における刺激光の直径は式(1)の  $2\sigma_E$  にきわめて近い値である。我々は、以後このようにして求めた交点での刺激光の直径をもつて受容野直径と定義する。この値は  $2\sigma_E$  にきわめて近い値であ

る。以下では直線の交点での刺激光の直径が $\lambda_0 E$ に近いことを解析的にしらべてみよう

刺激の半径 $r$ のスポット光であれば、増分関数 $\Delta I$ は

$$\int_0^{2\pi} \int_0^r \Delta I \cdot G(r) \cdot r \cdot dr d\varphi = \theta \quad (3)$$

で与えられる。すなわち

$$\Delta I = \frac{\theta}{2\pi \int_0^r G(r) \cdot r \cdot dr} \quad (4)$$

である。つぎに増分関数の最小値は、

$$G(r) = 0 \quad (5)$$

を満足する半径で与えられる。このとき、

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 \sigma_{\pm}^2 \ln Q}{\sigma_E^2 - \sigma_{\pm}^2}} \quad (6)$$

すなわち(6)式で与えられる半径のスポット光を用いたとき増分関数は最小値となる。

次に半径が $\sqrt{\frac{10}{\pi}}$  (すなわち $\log S = 1$ ) のスポット光を用いたときの増分関数 $\Delta I$ は

$$\alpha = \int_0^{\sqrt{\frac{10}{\pi\alpha}}} \left( e^{-\frac{r^2}{\sigma_E^2}} - Q e^{-\frac{r^2}{\sigma_I^2}} \right) r dr \quad (7)$$

とすれば、

$$\log \Delta I = \log \frac{Q}{2\pi\alpha} \quad (8)$$

で与えられる。(1,  $\log \frac{Q}{2\pi\alpha}$ ) を通り傾き -1 の直線 (図 15 参照) は、

$$Y - \log \frac{Q}{2\pi\alpha} = -(x-1) \quad (9)$$

である。一方、増分関数の最小値は (6) 式で与えられる半径のスポット光のとき得られる。そのときの増分関数を

$$(\log \Delta I)_{\min} = \log \frac{Q}{2\pi\beta} \quad (10)$$

とすれば、 $x$  直線の交点でのスポット光の半径  $\beta$  は、

$$\beta = \sqrt{\frac{10\beta}{\pi\alpha}} \quad (11)$$

で与えられる。(7) 式から  $\alpha$  は

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[ \sigma_E^2 \left( 1 - e^{-\frac{10}{\pi \sigma_E^2}} \right) - Q \sigma_I^2 \left( 1 - e^{-\frac{10}{\pi \sigma_I^2}} \right) \right] \quad (12)$$

$\beta$  は

$$\begin{aligned} \beta &= \int_0^{r_{\min}} \left( e^{-\frac{r^2}{\sigma_E^2}} - Q e^{-\frac{r^2}{\sigma_I^2}} \right) r dr \\ &\doteq \frac{\sigma_E^2 \cdot \sigma_I^2 \cdot \ln 1/Q}{2(\sigma_I^2 - \sigma_E^2)} \cdot (1 - Q) \end{aligned} \quad (13)$$

で与えられる。式(11)は  $\delta$  が  $\sigma$  によらず決定できることを示している。いま図14と同じパラメータで  $\delta$  を求めてみよう。すなわち、

$$\sigma_E = 3.15, \quad \sigma_I = 5.5, \quad Q = 0.1$$

である。このとき

$$\alpha = 1.2$$

$$\beta = 3.78$$

となり、

$$\delta = 3.17$$

すなわち受容野直径 ( $\delta$ ) は 6.3 となり  $2\sigma_E$  と一致した。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底視野計を用いた。

刺激おまびき続き 視標は円形で、視角に換算して、直径が、 $2.7$ 、 $3.1$ 、 $6.4$ 、 $13$ 、 $21$ 、 $28$ 、 $33$ 、 $60\text{ min}$  の 8 種。視標の提示位置は、左眼の鼻側視野（眼底では耳側）である。提示位置の偏心度（eccentricity）は、 $0^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $4^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$  の 6 種、提示時間は  $200\text{ msec}$  である。

実験に先立ち、ミドリリンPを点眼し、散瞳を十分確認した後、20分間順応させた。非検査眼を眼帯で遮閉し、スタート合図の後、被検査者は self-paced に視標提示ボタンを押す。そして視標が見えれば手元のキーを押す。増分関は上下法最低25試行で決定された。データから知覚確率曲線（probability - seeing - curve）を求め、中間付近を最小2乗法によ、2回帰し、50%関を決定した。背景輝度は  $10\text{ asb}$  である。

被験者 正眼者5名。平均年齢25才。



### 3. 結果と考察

図16は、空間加重性から求めた受容野直径を示している。図16から受容野直径  $d(\text{min.})$  と偏心度  $e(\text{deg.})$  の関係は、

$$d = 0.55 \cdot e + 4.15 \quad (r = 0.989) \quad (14)$$

であった。図17は、5名の被験者の平均値である。受容野直径と偏心度の関係は、

$$d = 0.76 \cdot e + 4.2 \quad (r = 0.896) \quad (15)$$

であった。一方より周辺で求めた Wilson(1970)の結果を回帰する(図3; Wilson, 1970)と、

$$d = 0.7 \cdot e + 4.6 \quad (16)$$

であった。このことから受容野直径は、偏心度とともに連続的に大きくなることが明らかになった。そこで受容野に含まれる錐体数を求めてみよう。視角で4'および10'は、網膜上ではそれぞれ約150 $\mu\text{m}$ 、および50 $\mu\text{m}$ に対応する。一方、Psterberg(1935)によれば、錐体

間距離は中心窩で  $3\mu m$ 、偏心度  $10^\circ$  の位置で  $10\mu m$  であるから、ほぼ受容野に含まれる錐体数は一定であると考えられる。ここから得られた結論は、受容野直径と偏心度が線形関係にあるということである。

## § 2-3. 増分閾と受容野直径との関係に関する検討<sup>1</sup>

本節では、空間加重性から受容野直径を調べるという時間の要する方法に代わる簡単な方法を提案し、これによつて正常眼における受容野直径を検討する。

### 1. 理論的背景

ここでは、まず空間加重性から得られた受容野と、その直径より小さい光点に対する感度の関係を考察する。神経生理学的研究から、神経節細胞の光に対するゲインは順応レベルが低いときは一定で、ある臨界レベルを越えるとゲインは De Vries もしくは Weber の法則に従つて低下することが知られている。しかもこの臨界レベルは、網膜照度ではなく受容野中心<sup>部</sup>に投射される全光束数 (total flux ; すなわち網膜照度  $I \times$  受容野中心<sup>部</sup>の面積  $S$ ) によつて決定されることが知られている。

(脚注1) Inui, Mimura & Kani (1981) および Inui, Ohmi & Mimura (1984) 参照。

(Enroth - Cugell と Shapley, 1960)。図 23 は網膜照度、全光束数と神経節細胞のゲイン

(impulse/quantum 比) の関係を示している。ここにゲインは光量子 1 個の吸収に対し、発生するインパルスの平均値を示したものである。図から明らかのように、全光束数がゲインが決定されるので受容野の大きいニューロンは小さいものと比べて低い網膜照度で臨界レベルに達し、しかも比較的高い網膜照度においては常に受容野の大きいニューロンの方がゲインが低くなっている。この事実から、背景輝度が一定のときニューロンの感度は受容野面積に逆比例することが示唆される。

いま、受容野直径を  $D(\text{mm})$ 、網膜照度を  $I(\text{asb})$ 、増分閾を  $\Delta I(\text{asb})$ 、刺激光の直径を  $d(\text{mm})$  とすれば、網膜照度がある臨界レベルより明るいときは閾値が全光束数に比例するので、

$$\Delta I \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = K \cdot I \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (17)$$

という関係が成立する。(14)より、

$$D = d \sqrt{\frac{\Delta I}{K \cdot I}} \quad (18)$$

が得られる。式(15)は、 $I$ 、 $\Delta I$ 、 $d$ が決まれば、 $D$ の変化が予測できることを示している。

〔条件1〕いま、 $D = ae + b$ とする。ここに $a$ 、 $b$ は定数であり、 $e$ は網膜偏心度を表わす。この条件は、既にわめわめが偏心度 $0^\circ \sim 10^\circ$ において見いだしたように、受容野直径が偏心度と線形関係にあることを意味している。この条件を(18)式に代入すると、

$$\sqrt{\Delta I} = \frac{K \cdot I}{d} (ae + b) = K_1 e + K_2 \quad (19)$$

ここに $K_1$ 、 $K_2$ は定数である。すなわち、もし受容野直径 $D$ が偏心度と線形関係にあるのなら増分閾の平方根 $\sqrt{\Delta I}$ も偏心度と線形関係にあることが予想されるのである。

〔条件2〕いま、偏心度を一定に保ち、網膜照度 $I$ を変化させ受容野直径に等しい直径

をもつ円形視標で増分閾を測定する。このとき  
きは(18)式から、

$$(\Delta I / I)_{d=D} = K \quad (20)$$

が得られる。

(20)式から、 $I$ とは無関係に Weber 比  $\Delta I / I$  が一定になることが予想される。これは Glezer (1965) によって得られた結果と一致し、それによると  $K$  は 1 にきわめて近い値である。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底カメラにより、視標の網膜位置をモニタしながら増分閾を測定した。

刺激および手続き 視標が見えればすえのキーを押させた。各網膜位置について 25 試行上下法により、閾付近の知覚確率が決定された。このデータに基づき、知覚確率曲線から 50% 閾を求めた。

視標は円形で直径 3.1'、提示時間 200 ms 2"

あ、た。視標の提示位置は正常に対しては左眼の鼻側視野（眼底では耳側）の網膜偏心度  $0^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $4^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$  であ、た。また4名の被験者に対しては直径  $\phi'$  の視標を用いて耳側視野と同様の実験を行な、た。

被験者 正常者9名。いずれも眼科的にけま、た。異常がなか、た。

### 3. 結果と考察

正常者の受容野直径はすでに § 2 - 2 で述べたように、網膜偏心度と線形関係にあり、中心窩では背景輝度  $10 \text{ asb}$  で  $\phi'$  であ、た。一方、どの部位での受容野直径より小さい光点に対する増分閾  $\Delta I$  の平方根も、上で述べた理論から網膜偏心度と線形関係にあることが予想される。図19は直径  $\phi'$  の視標に対する増分閾の平方根と網膜偏心度との関係を示したものである。予想どおり、両者は線形関係にであ、た。 $\phi'$  の視標に対する結果も図20の如く直線関係を示した。この事実が正常眼であ

れば小さな ( $10 \text{ asb}$  の背景であれば直径が  $\mu'$  以下の) 視標に対する増分関  $\Delta I$  の平方根を種々の網膜部位で測定すれば、その分布は受容野直径の分布であることを意味している。さらに一つの網膜部位で受容野直径をしらべておけば、(18) 式の比例定数  $K$  が決定され、他の部位では単に増分関だけから受容野直径が求められるのである。



## § 2-4. 2点分離閾と受容野直径<sup>1</sup>

本節では、まず2点間の距離が上記の受容野中心の直径よりも小さくなれば2点が分離して知覚されるための閾輝度が上昇することとを計算機シミュレーションにより予測する。ついで心理物理学の実験により、2点分離に必要な閾輝度を測定し、閾値が上昇しはじめる2点間距離が受容野中心の直径と一致することを確認する。

### 1. 理論的背景

本実験は、2光点が同時に提示されたとき、2点が分離して知覚されるために必要な増分閾と2点間の距離の関係をしらべる。まず、計算機シミュレーションにより、結果を予測してみよう。

§ 2-2 で神経節細胞の受容野の感度分布が、二つのガウス関数の差の形で記述できることを述べた。いま簡単のため、1次元で考

(脚注1) 乾敏郎、三村有、可児一彦(1983)参照。

えることにする。

受容野の感度分布  $G(x)$  を

$$G(x) = \exp(-x^2/\sigma_E^2) - Q \exp(-x^2/\sigma_I^2) \quad (21)$$

とする。ここに  $\sigma_E$  は受容野中心<sup>部</sup>の最大感度を 1、抑制野の最大感度を  $Q$  ( $Q \leq 1$ ) とする。 $\sigma_E$  と  $\sigma_I$  は、それぞれ受容野中心<sup>部</sup>および抑制野の広さを決めるパラメータである。二光点刺激  $I(x)$  の網膜像  $I'(x)$  は眼光学系の伝達特性によって決められる (図 21)。眼光学系の伝達特性はいわゆる光学系の線広がり関数 (optical line spread function) で表わされる。ここに Westheimer & Campbell (1962) が 3 mm 人工瞳孔で得た光強度分布関数

$$f(x) = \exp(-0.7|x|) \quad (22)$$

を採用した。Campbell & Gubisch (1966) によると直径が 1.5 mm の人工瞳孔の場合と大差のないようである。また本関数の係数の多少の変動によっても結論は変わらないことも確かめ

ている。すなわち

$$I'(x) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x) \cdot f(x-z) dz \quad (23)$$

である。このとき、 $x$  光点刺激の網膜像  $I(x)$  による細胞の出力  $O(x)$  は、

$$O(x) = H \left[ \int_{-\infty}^{\infty} I'(z) \cdot G(z-x) dz - \theta \right] \quad (24)$$

で与えられる。ここに  $O(x)$  は受容野の中心<sup>部</sup>が  $x$  にある細胞の出力であり、 $H(x)$  はヘビサイド関数<sup>1</sup>で、細胞の閾値は  $\theta$  としている。

図 22 は計算機シミュレーションの一例である。図の縦軸は、 $x$  光点の中央の位置に対する細胞の出力を光点の位置に対する細胞の出力で割った値（ここでは興奮比と呼ぶ）である。また横軸は、 $x$  光点の距離（正確に言えば、 $x$  光点の内側の距離）である。白三角は受容野中心<sup>部</sup>の直径（すなわち、 $\sigma_E$ ）を、黒三角は抑制野の直径（すなわち、 $\sigma_I$ ）を示している。丁は光点の強度を示している。図から明らかのように、興奮比は  $x$  光点の距離

脚注 1)  $H(x) = \begin{cases} x & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases}$

が受容野中心<sup>部</sup>の直径より小さくになると上昇することになる。さらにこの結果は抑制野の直径に依存しないことも明らかである。ス光点が分離して知覚さるために必要な閾値は、光点間<sup>部</sup>が受容野中心<sup>部</sup>の直径より小さくになると上昇することを示唆している。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底視野計を用いた。

刺激 中心窩には、直径1'の光点を2点同時提示した。2点間の距離（光点の内側の距離）は、2.1'、3.9'、4.7'、5.5'、7.8'の5種類であった。左眼の鼻側視野（眼底では耳側）の偏心度4°および8°の位置には、直径2.2'のス光点を用いた。偏心度4°の場合、2点間の距離は4.9'、7'、8.5'、9.5'、11.4'の5種類、偏心度8°の場合、7'、8.5'、9.5'、11.4'、15.7'の5種類であった。

手続き 実験に先立ち、被験者には20分間暗順応させた。非検査眼（右眼）を眼帯

で遮閉し、スタート合図の後刺激光を 200 ms 間提示した。このとき被験者には、2 点が分離して知覚されたか否かを口答で答えさせた。なお、2 光点の視野で垂直に提示された。各偏心度ごとに極限法により、2 点分離に必要な増分閾が 5 回測定された。被験者の疲労をさけるため、各偏心度について 3 日に分けて実験が行われた。各実験とも所要時間は約 1 時間であった。

被験者 男子 1 名 (26 才)、女子 3 名 (23 才) の計 4 名であった。いずれの被験者も眼科的にけま、たゞ異常が認められなかった。

### 3. 結果と考察

刺激光の 2 点間距離と 2 点分離に必要な閾輝度との関係の一例を図 23 に示す。図の縦軸は閾輝度 (単位は asb.) の対数値である。いずれの偏心度においても、上記のシミュレーションから予測されるように、2 点間距離が

臨界値以下になれば閾値の急激な上昇が見られた。2点間距離の大きい条件における閾値よりも0.05対数単位だけ閾値が上昇する2点間距離を臨界値と定義し、各被験者に対してこの値を算出した。図24はこの臨界値と網膜偏心度との関係を示している。図から明らかのように、臨界値は網膜偏心度と線形関係にあった。最小二乗法により、回帰式を求めると

$$Y = 0.17 \cdot e + 4.9 \quad (r = 0.992) \quad (25)$$

であつた。ここに $Y$ は臨界値(min.)を、 $e$ は網膜偏心度(deg)を、 $r$ は相関係数を表わす。§2-2の図17に示した受容野中心部の平均値と網膜偏心度の関係は、

$$Y = 0.76 \cdot e + 4.2 \quad (r = 0.896) \quad (26)$$

であつた。ここに $Y$ は受容野中心部の直径(min.)を、 $e$ は網膜偏心度(deg)を、 $r$ は相関係数を表わす。両者を比較することにより、本実

験で得られた臨界値が空間加重効果から求められた受容野中心<sup>部</sup>の直径にきわめて近い値であることが明らかにされた。上記のシミュレーションの結果をも考慮することによって、ここで得られた臨界値ならびに空間加重効果から得られた受容野中心<sup>部</sup>の直径は単一の細胞の特性であると考えられる。

## § 2-5. 抑制野（受容野周辺）の直径と網膜偏心度<sup>1</sup>

こゝまで、受容野中心<sup>部</sup>の直径と網膜偏心度の関係について述べてきた。神経生理学的研究によれば、受容野は同心円型のものが多く、受容野中心<sup>部</sup>の周囲には中心に対して抑制性に働く抑制野が存在する。本節ではこの抑制野の直径と網膜偏心度との関係をしらべる。

### 1. 理論的背景

Westheimer (1964) は、直径  $1'$  の視標の増分閾が順応光である円形刺激によ、まどのやうに影響されるかをしらべた。  $1'$  から  $5'$  までは順応刺激の直径とともに閾が上昇したが、それより大きい順応刺激では逆に増分閾は低下した（この閾値低下を sensitization と呼び、閾上昇も含めた全体の閾変化を Westheimer function と呼ぶ）。これは抑制野の存在を示唆

(脚注1) 乾敏郎、三村治、可児一彦(1983)参照。



するものである。Westheimer によればこの大きさは、偏心度とともに大きくなり、中心窩で直径が約  $16'$ 、偏心度  $10^\circ$  では  $40'$  であった。Fiorentini (1972) は、長さ  $30'$  の平行な二本のスリット光を用いて抑制効果の検討を行った。二本のうち一本は閾下の一定輝度に設定しておき、もう一本のスリット光の輝度を被験者に調整させて増分閾をしらべた。その結果、二本のスリットの間隔が  $10'$  以下であれば抑制効果がみられた。Limb と Rubinstein (1977) は、同じ輝度をもつ垂直線分を用い線分の間隔を変化させて、線分に対する増分閾測定を行った。その結果、 $2^\circ$  以上では直径が  $30'$ 、中心窩では  $14' \sim 20'$  の抑制野がみられた。

閾上値の明るさをもつ刺激光についても、抑制効果の存在が確かめられている。Higgins と Rinalducci (1975) は、白色光を用いて明るさのマッチングを行った結果、 $3'$  以下では明るさが面積とともに上昇し、Ricco の法則が

成立し、直径が  $3' \sim 6'$  のとき、逆に明るさが低下した。ただし、このような明るさの低下、すなわち抑制効果が働くのは、閾値よりかなり明るい ( $1 \log$  単位  $\sim 2 \log$  単位) ときであることは、これら閾上値の輝度での実験結果に共通している。

ところで、サルの網膜 Y 細胞の受容野の感度分布もネコの神経節細胞同様、スッのガウス関数の差の形で記述できる (De Monasterio, 1968)。いま、受容野の中心<sup>部</sup>からの距離を  $x$ 、抑制野の感度を  $f(x)$  と一次元の感度分布を考える。このとき抑制刺激の輝度  $I$  に対する抑制性<sup>部</sup>の出力は

$$K_1 \cdot f(x) \cdot \log(I + K_2) \quad (27)$$

であることが知られている (Creutzfeld et al., 1970; 図 7 を参照) にこゝに  $K_1$ ,  $K_2$  は定数である。すなわち、抑制性<sup>部</sup>の出力は刺激輝度の対数に比例するのである。さらにテスト光の閾値を  $\Delta I$  とすれば

$$K_3 \cdot \log \Delta I - K_1 \cdot f(x) \cdot \log (I + K_2) = C \quad (28)$$

すなわち

$$\log \Delta I = C/K_3 + K_1/K_3 \cdot f(x) \cdot \log (I + K_2) \quad (29)$$

と書ける。ここに  $C$ 、 $K_3$  は定数である。これは、テスト光の閾値の提示位置による変化をみることによって抑制野の感度  $f(x)$  が明らかにされることを示している。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底視野計を用いた。

刺激 テスト光は、直径  $8.4'$  の円形光である。中心窩、偏心度  $3^\circ$  および  $6^\circ$  の位置では抑制刺激は幅  $2.2'$ 、長さ  $16.2'$  の二本の平行なスリット光である。偏心度  $9^\circ$  の位置では幅  $3'$ 、長さ  $24'$  のスリット光が用いられた。また抑制刺激の間隔（スリット光の内側の距離）は、中心窩では  $4.2'$ 、 $6'$ 、 $10.2'$ 、 $12'$  の4種類、偏心度  $3^\circ$  の位置では  $10.2'$ 、 $11.7'$ 、 $12.5'$ 、 $12.8'$

の4種類、偏心度 $6^{\circ}$ の位置では11.7'、13.7'、19.2'、24.6'の4種類、偏心度 $9^{\circ}$ の位置では、27.3'、33.8'、37.8'、45.2'の4種類であつた。

さて、予備実験において、4名の被験者に対して抑制刺激が知覚されるために必要の輝度を測定した。平行線の閾値( $\Delta I$ )の対数を表2に示す。各偏心度とも大きな差はなく、1.1に近い1.37であつた。そこで閾値より約1.0対数単位高い158 asb. ( $\log \Delta I = 2.2$ )に平行線の輝度を設定した。また2名の被験者(K、TおよびM、Y)に対して17種類の平行線輝度に対して実験が行なわれた。背景輝度は10 asb.であつた(表2参照)。

手続き スタート合図とともに平行のスリット光が提示され、1秒後にテスト光が提示された。テスト光の提示時間は、200 msecで、スリット光と同時に消去された。この時、テスト光の増分閾が極限法で求められた。実験は各々の網膜位置に対して1セッションを設け、2セッションずつ5日に分けて行なわれ

れた。(K.TとM.Yは1セッションずつ4日に分けて行なわれた)。各セッションでは、抑制刺激の間隔が任意の順序で選択された。抑制刺激間隔に関する各条件で、抑制刺激が提示される場合とされない場合についてそれぞれ2回閾値が測定された。

被験者 男子2名(25才)および女子2名(22才)の計4名であった。いずれの被験者も眼科的には、全く異常が認められなかった。

### 3. 結果と考察

抑制刺激が提示されない条件での、テスト光で閾値および閾値の平方根( $\sqrt{\Delta I}$ )の平均値を表2に示す。§2-3の結果と同様、閾値の平方根は網膜偏心度と線形関係にあった。つぎに、抑制刺激の輝度が158 asb.の条件下での抑制刺激の線間隔と閾上値の関係を図25に示す。ここでは、抑制刺激が提示されない場合のテスト光の閾値( $\log \Delta I'$ )と抑制刺激がな

い場合のテスト光の閾値 ( $\log \Delta I$ ) を比較し、  
 その差 ( $\log \Delta I' - \log \Delta I$ ) を閾上昇値として図の  
 縦軸に示している。偏心度  $0^\circ$ 、 $3^\circ$ 、 $6^\circ$  の場合、  
 わずかではあるが抑制刺激の線間隔が小さ  
 くなるほど閾上昇率が増加する傾向にあつた。  
 しかしながらその傾向は小さくむしろいず  
 れの偏心度においても閾上昇値は抑制刺激の  
 線間隔の減少とともにほぼ線形に上昇した。  
 閾上昇値が  $0.1 \log$  単位に於ける抑制刺激の線間  
 隔を抑制野の直径と定義し、4名の被験者に  
 対する平均値と標準偏差を図26に示す。抑制  
 野の直径は中心窩で約  $12'$ 、偏心度  $10^\circ$  の位置  
 では約  $40'$  であつた。図17に示した受容野中  
 心の<sup>部</sup>直径と比較すると抑制野の直径は受容野  
 中心<sup>部</sup>の直径の  $2.6 \sim 3.5$  倍であり、平均  $2.9$  倍  
 であつた。次に、抑制刺激の輝度と閾上昇値  
 の関係の一例を図27に示す。抑制刺激の線間  
 隔が小さいほど高い閾上昇率を示した。こゝ  
 は、受容野の中心<sup>部</sup>に近いほど抑制野の感度が高  
 いことを示すものである。

既に、小光点に対する増分閾の平方根が受容野中心<sup>部</sup>の直径に比例する量であることを見た(§ 2-3)。さらに、§ 2-4において、2点分離に対する増分閾<sup>部</sup>が上昇しはじめる2点間距離が受容野中心<sup>部</sup>の直径に等しいことを示した。これらの結果は、我々が空間加重効果から得た受容野直径が、ヒトの単一の神経細胞の特性であることを支持するものである。また、マカク属のサルは視力、空間周波数特性および色感度がともにヒトのそれにきわめて近い(乾・宮本 1979 参照)が、神経生理学的研究からサルの網膜神経節細胞の中で broad-band cell と呼ばれるものの受容野中心<sup>部</sup>の直径が偏心度とともに大きくなることが示され(De Monasterio & Gouras, 1975)、その値は上記の心理物理学的方法によつてヒトで得られた受容野直径に近い値であった。最近、HRP 注入法による解剖学的研究から P<sub>α</sub> 細胞と呼ばれる細胞の樹状突起の広がり<sup>部</sup>と電気生理学的に得られた broad-band cell の受容野直径がほぼ

ば等しく、しかも  $P_2$  細胞の樹状突起の広がり  
 の幅は偏心度と線形関係にあることが明らか  
 にされた (Perry & Cowey, 1981)。彼らに  
 よれば、 $P_2$  細胞の樹状突起の広がり偏心  
 度  $4^\circ$  で  $35 \mu m$  ( $8'$ )、偏心度  $10^\circ$  で  $75 \mu m$  ( $18'$ ) だ  
 る。これは我々の結果が単一の broad-band  
 cell の受容野特性を反映していることを示唆  
 するものである。ところで空間加重特性 (De  
 Monasterio, 1978) と神経軸索の伝導速度 (De  
 Monasterio et al., 1976) から、broad-band cell が  
 Y型細胞であることが明らかにされている。  
 周知の如く、Y型細胞は刺激の ON または  
 OFF に対して過度的に応答するものであり、  
 フリッカー感度等を決定するものである。乾  
 ら (1982) は、上記の受容野直径と刺激光  
 直径による CFF (臨界融合頻度) の変化との  
 間にきわめて密接な関係が存在することを見  
 出してゐる。

一方、本節の冒頭に示したように、閾下  
 および閾上値の輝度をもつ刺激光を用いて抑



視野の検討が行われてきたが、偏心度との関係についてはあまり明らかにされていなかった。最近、Wilson (1978)、Wilson & Bergen (1979)は、3本の平行線の間隔を変えて閾測定を行った。両側の線分は中央の線分の0.375倍コントラストであった。刺激の提示方法は2種類あり、正弦波状に時間変調をかけて提示するS提示と125msで点滅するT提示とであった。その結果、S提示による応答するチャンネルは抑制野の直径が受容野中心部の1.75倍であり、T提示による応答するチャンネルは3.0倍であった。後者はいわゆるY型チャンネルの特性であると思われる。一方、本実験から、抑制野の直径は受容野中心部の直径の平均2.9倍であることが示された。上記の如く我々の刺激法で得られたデータがY型細胞の受容野特性であると考えられ、しかもこの結果はWilsonら(1978, 1979)の3.0倍とよく一致している。すなわち、我々のデータは閾値より1対数単位高い閾上値刺激を

用いて得られたものであるが、閾下刺激を用いて測定された結果と一致したのである。また、中心窩でしかも閾下刺激を用いた Fiorentini (1972) の結果 (約 10') と一致している。

## § 2-6. 持続型(X-)チャンネルの受容野

§ 2-2 から 5 までの節において、空間加重効果から求められた受容野特性が、ヒトの網膜Y細胞の受容野であるという仮定を支持する実験結果を述べてきた。本節では、刺激の時間的提示条件を変えることにより、X細胞の受容野直径を測定する。

### I. はじめに

既に§ 2-1 において、サルにおいても、ネコと同様にX細胞とY細胞の存在が確かめられていることを述べた(網膜では De Monasterio, 1975; 外側膝状体では Marrocco, 1976)。しかし、サルにおいてはこれらの時間的応答特性が十分に知られていない。ネコでは、Lehmkuhle ら (1980) が、それぞれの細胞に最適の空間周波数をもつ矩形波格子のコントラストを正弦波状に時間変調をかけることにより

って時間的 MTF を測定している。X細胞も Y細胞もともに低周波数での感度の低下がありみられないが、Y細胞はより高周波数で応答がみられた。網膜偏心度が $10^\circ$ 以内に存在する細胞の分解可能な時間周波数は、X細胞では $12 \sim 13$  Hz であり、Y細胞では約 $20$  Hz である。そこで図28のように1秒間の提示でしかも刺激輝度が明確に変化する条件（以後S提示と呼ぶ）と33ミリ秒間パルス状に提示する条件（以後T提示と呼ぶ）の2種類の提示条件で、種々の直径の円形光に対する閾エネルギーをしらべた。

## 2. 実験方法

赤外線 Fundus Haploscope を使用した。刺激光の直径は  $0.5'$ 、 $1.2'$ 、 $1.7'$ 、 $4'$ 、 $8'$ 、 $12'$ 、 $22'$  の7種類。刺激の提示条件はS提示とT提示の2種類であり、S提示は2枚の偏光フィルターを用い、片方を固定しもう一方を1秒間に $\frac{1}{2}$ 回転させた。このとき、偏光フィルター

の直角方向から入射する光線の強度を  $I$  とし、偏光フィルターの回転によるずれ（回転角）を  $\theta$  とすると 2枚の偏光フィルターを通過する光線の強度は、

$$\frac{I}{2} \cos^2 \theta \quad (30)$$

で与えられる。T提示条件での刺激光の変化は33ms間の矩形波パルス状であつた。背景輝度は10asbであつた。このとき、各刺激光に対する増分閾が測定された。

### 3. 結果と考察

S提示条件で得られた結果の一例を図29に示す。図の縦軸は閾エネルギーを、横軸は視標の面積を示している。視標の提示位置は偏心度  $0^\circ$  と  $9^\circ$  である。いずれの提示位置においても  $3'$  以上ではこれまでに得られた結果と同様、偏心度  $0^\circ$  では  $4'$  以下で、偏心度  $9^\circ$  では  $8'$  以下でエネルギーの加重が見られた。しかしながら、より小さい視標ではさらに閾エネルギー

一の低下が見られた。このような閾エネルギーの低下はT提示条件では見られず、偏心度 $9^\circ$ では逆に閾エネルギーが上昇する傾向であった(図30)。すなわち、小さい視標での閾値低下は、S提示にのみ見られるものである。そこでS提示条件で詳しくしらべた結果偏心度に依存せず視標直径が $2.5'$ 以下では完全な空間加重が成立することが明らかにされた(図31)。すなわち、S提示によ、てのみ $2.5'$ 以下の空間加重がみられたことから、X細胞の受容野直径が $2.5'$ であると考えられる。

## § 2-7. X型チャンネルとY型チャンネルの受容野直径の比と視力

本節ではこれまで得られた知見を基礎に、古くから知られている視力に関するデータからX型受容野の直径を推定する。併せて、X型およびY型チャンネルの受容野直径の比を心理物理的実験によって測定する。

### 1. 理論的背景

古く、1897年に、Königは視力が照度の上昇とともに高くなることを見い出している。その後多くの研究者がこの現象を解析し、視細胞レベルで説明しようとしたが成功しなかった。現在ではむしろ神経節細胞レベルで考えざるを得ないことが明らかにされてきた。この点については、乾、三村、宮本(1982)が詳しく議論した。最近、単一ニューロンの分解能(すなわち視力)がしらべられてきた(Clelandら、1999)。この場合、種々の粗さの

本本の平行線や空間格子を受容野を横切らしたとき、物理的コントラスト変化に対応した出力の変化が生ずる限界がしらべられた。

一方、§ 2-3 で述べたように、神経節細胞のス・パルス/光量子比（すなわち、光に対するゲイン）は順応レベルが低いときは一定で、順応レベルが高いときは背景光の $0.9$ 乗に逆比例して低下する（Enroth-Cugell & Shapley, 1973）。この暗順応状態からの転移レベルは神経節細胞の受容野中心<sup>部</sup>に照射される全光束数（total flux）によって決まることが知られている（Enroth-Cugell & Shapley, 1973）。したがって、受容野の大きい細胞ほど低い順応レベルからゲインが低下するのである。本節ではこの事実を基礎にして、光覚閾を決めるチャネルと視力を決定するチャネルの受容野中心<sup>部</sup>の直径の比を求める。

視力と順応レベルの関係は、Shlaer (1937)、Shlaer ら (1942) によって詳しくしらべられている。彼らは、いわゆるポジティブブランド



ルト環を用いているし、後者の研究では色光を用いている。しかしながら、結果は König (1897) の結果に、順応レベルによる瞳孔径の変化を考慮したデータ (Shlaer, 1937) にきわめて近いものであった。さらに Moon and Spencer (1944) は異なる研究によつて得られた多くの視力変化に対するデータに対して1つの回帰式をあてはめている。我々は以下の議論に Shlaer (1942) の中心窩でのデータと Moon-Spencer の実験式を用いることにする。

まずターゲット（特にランドルト環）のギャップの光エネルギー  $E$  を計算しよう。それは  $\Delta I$  をギャップの輝度とターゲットの輝度の差とすれば

$$\log E = \log[\Delta I \times (\text{MAR})^2] \quad (31)$$

で MAR は視力の逆数すなわちギャップの幅である。したがって  $(\text{MAR})^2$  はランドルト環のギャップの面積である。もしポジティブチャートを用いればターゲットの輝度が順応

レベルになり、ネガティブチャートを用いればギャップの輝度が順応レベルになる。通常はターゲットとギャップのコントラストが一定なのでコントラストを  $C$  とすれば、上式は

$$\begin{aligned}\log E &= \log [C \times I \times (\text{MAR})^2] \\ &= \log [I \times (\text{MAR})^2] + \log C\end{aligned}\quad (32)$$

ここに  $I$  は順応輝度である。ここでは、順応レベルによるギャップの光エネルギー変化のみを問題にするので、 $E$  の代わりに下記の  $E'$  をしらべることにする。

$$\log E' = \log [I \times (\text{MAR})^2] \quad (33)$$

上述の Moon - Spencer の式を使って  $\log E'$  を求めたのが、図 32 の右側の曲線である。

次に我々は増分関と順応レベルの関係を示す Glezer (1970) の図 5 から関エネルギーを計算した。その結果が図 32 の左側の曲線である。Glezer (1970) のデータは § 2-2 § 2-3 で

述べた方法と同様、刺激光を105mm提示されるものであり、Y型チャンネルの特性であると考えられる。

既に述べたように、暗順応状態からの転移レベルは、受容野中心<sup>部</sup>に照射される全光束数によって決定される。それゆえ転移レベルの輝度比の逆数は受容野の面積比に等しい。図32から、視力の転移レベルは2.5tdであり、増分閾の転移レベルは0.6tdである。したがって受容野面積の比は1:4.2であり、それゆえ受容野直径の比は1:2.1である。§2-2から§2-4までの結果によればY型チャンネルの受容野直径は約5'なので本結果からX型チャンネルの受容野直径は2.4'であると推定される。この結果は§2-7の結果とよく一致する。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底視野計を用いた。

刺激および手続き 直径2.9'および9.3'

の円形視標を用いた。直径  $9.3'$  の視標は  $50\text{ms}$  間スラップ状に提示された（前節の T 提示条件）。直径  $8.9'$  の視標は 3 秒間に輝度 0 から種々の輝度値まで対数関数的に上昇させた。この提示方法では前節の S 提示条件よりもさらに temporal edge の効果は小さくなる。

被験者はまず 20 分間絶対暗順応した後、種々の背景輝度に 5 分間順応し、実験が開始された。背景輝度は  $10^{-4}\text{ asb.}$ ,  $10^{-3}\text{ asb.}$ ,  $10^{-2}\text{ asb.}$ ,  $10^{-1}\text{ asb.}$ ,  $1\text{ asb.}$ ,  $10\text{ asb.}$  の 6 種類であった。各々の背景輝度に対して、上下法により増分閾が決定された。

被験者      男子 4 名。女子 1 名。

### 3. 結果と考察

閾エネルギーは背景輝度が低いとき一定であり、背景輝度を上昇させると閾エネルギーも増加する。増加し始める背景輝度を転移レベルと呼ぶ。本節の理論的背景で述べたように、Y 細胞と X 細胞の受容野中心部の面積

の比は、この転移レベルの比  $R$  に等しいはずである。5名の被験者に対して、転移レベルの比  $R$  (S提示 v.s. T提示) を求めた結果

$$\log R = 0.9 \pm 0.7 \quad (34)$$

であった。すなわち、転移レベルの比  $R$  の平均値は  $7.9 (10^{0.9})$  であった。この  $R$  の値が Y 細胞と X 細胞の受容野中心<sup>部</sup>の面積に等しいので  $\sqrt{R}$  が受容野直径の比になる。したがって、Y 細胞は X 細胞の受容野直径の  $2.8 (= \sqrt{7.9})$  倍である。§2-2 から偏心度  $3^\circ$  での Y 細胞の受容野直径は  $6.5'$  のでこの位置での X 細胞の受容野直径は  $2.3'$  であることが推定される。この値は前節で求めた  $2.5'$  にきわめて近い値である。前節から、X 細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は偏心度  $10^\circ$  以内で一定なのでより周辺で本実験を行なうと転移レベルの比  $R$  はいっそう大きくなるはずである。この点については、現在実験を進めている。

## § 2-8. 異常環境下における受容野特性 の変化(I) 視感度と受容野面積<sup>1</sup>

本節では、これまで述べてきた受容野特性が異常環境下でいかに変化するかをしらべる。被験者として以下に述べるように偏心固視弱視 (eccentric fixation amblyopia) 患者を用いた。一般に斜視弱視の場合、片眼は眼科的にみて正常なので同一被験者が正常眼との比較が可能である。

### 1. はじめに

弱視は、ヒステリー弱視も含めて「器質的変化がないか、またあってもそれによる、その説明のつかない視力低下」と定義されていた (Bangerter, 1955)。70年代に入ると、弱視を、(1)斜視弱視、(2)視性刺激遮断弱視、(3)不同視性弱視、(4)屈折異常性弱視の4つに分類された。一口で言えば、弱視は両眼を機能的に

(脚注1) 乾敏郎、三村治、近江栄美子(1981) おさび Inui, Ohmi & Mimura (1984) おさび Mimura, Inui, Ohmi & Kani (1984) 参照。

等しく使用しないことが原因であることが分かってきた。70年代、生理学の分野での視覚剝奪実験が急速に進歩しこの影響もあつて、ごく最近になつて眼科領域でも弱視の研究が進みつつある。

Hubel と Wiesel (1965) は、子ネコで人工斜視を手術的につくり、両眼性の皮質ニューロンが著明に減少していることを見出した。実際、サンプリングされたニューロンは、すべて1眼を通じてのみ反応を起こすことができた。この両眼性の低下は、他の研究者も報告している。Ikeda と Wright (1976) は、内斜視が子ネコの外側膝状体ニューロンの受容野特性におよぼす影響を検討した。彼らは、斜視眼の中心領 (area centralis) から入力を受ける細胞の空間的分解能の低下を認めている。最近の Chino (1980) らの報告ではこの空間的分解能の低下はすでに網膜神経節細胞レベルでみられるという。このような低下は正常眼から入力を受ける細胞では認められていない。

加えて、斜視眼でも周辺の受容野（外側膝状体レベルでの）は正常である（Ikeda & Wright, 1976）。また、最近 Ikeda ら（1978）は外側膝状体の細胞の空間的分解能の低下の程度は斜視が起こされた時期と直接の相関があることを報告している。さらに、Ikeda ら（1977）は視軸の不一致の程度（斜視角）が、斜視眼から入力を受ける外側膝状体での鼻側網膜の障害の程度を決定することも明らかにした。このことと密接に関連するが、内斜視ネコでは最高の空間的分解能を示す部位も斜視角に依存して変化することが報告されている（Ikeda ら 1977）。外側膝状体の斜視眼から入力を受ける層では細胞の大きさの縮小という面でのかなりの形態学的変化がみられる（Ikeda & Wright, 1976）。

また、Ikeda と Wright（1976）は、内斜視ネコにおいて斜視眼から入力を受ける X 細胞は異常に低い空間的分解能を示すが、低空間周波数帯域ではその応答は正常であることを



示した。これらの結果は単眼視覚剝奪におけるX細胞の変化に類似している。しかし、極めて重要な違いがある。それは、斜視ネコでは高空間周波数帯域での感度の低下は中心領内にある、中心領付近に受容野を持つ細胞に限られることである。これに対し、視覚剝奪ネコではあらゆる網膜部位のX細胞でこの現象がみられる。このことは、網膜神経節細胞レベルでも検証されている (Chino et al, 1980)。<sup>10</sup> この Chino ら (1980) の実験では、斜視眼の中心領から  $10^\circ$  以内に位置するX細胞の受容野の大きさは異常に大きく、周辺は正常である。一方、斜視実験のY細胞に及ぼす効果に関しては、若干異なる見解が得られている。<sup>11</sup> 外側膝状体レベルで正常Y細胞の消失をみないとするものもある (Lehmkuhle et al, 1980) が、また網膜神経節細胞レベルで比率が低下するとする報告もある (Chino et al, 1980)。この点に関しては未だ一定の見解を得るに至っていないようである。

一方、眼科的研究から弱視への臨界期があり、1週間程度の短期完全遮閉においては約18ヶ月、2週間以上においては生後2〜3年であると言われている（三宅ら、1979）。一方、斜視の両眼融像をさせたときの対応関係に基づいて分類されている。網膜対応点以外の部位で融像が生ずるものを異常対応 (Abnormal Retinal Correspondence、略して ARC.) と呼ぶ。ARC の中で特に、片眼視でも常に斜視眼中心窩以外の位置で固視するものを、偏心固視 (Eccentric Fixation) と呼ぶ。近江ら (1980、1981、1982) は、赤外線眼底ハプロスコープを用いて、斜視の網膜対応について、詳しく検討している。近江ら (1982) によると、偏心固視部位が黄斑輪内にあいば、それは ARC 点でもある。すなわち、両眼融像が可能である。偏心固視部位がより周辺にあいば、対応欠如 (lack of correspondence) である。一般に偏心固視患者は斜視患者の1%にも満たない小数である。大多數の斜視患者は片眼視のとき中心固

視である。偏心固視弱視の場合特に中心窩に注視した対象が結像しないため、常にボケた像が入力される。偏心固視弱視において受容野特性がどう変化しているかをしらべよう。特に偏心固視や ARC の場合赤外線眼底ハプロスコープにより、初めて固視部位の測定が可能になり、たと言える。本節では、弱視眼および非弱視眼における感度分布、および受容野直径について述べる。

## 2. 実験方法

装置 赤外線眼底視野計を用いた。

刺激および手続き

視感度分布の測定 視標の直径は  $4'$ 、提示時間は  $200\text{ms}$ 、背景輝度は  $10\text{ asb}$  である。た。閾値は最低 10 試行上下法により、決定された。被験者は 10 名の弱視患者である、た (表 3)。視感度  $F$  は慣例に従い、増分関数を  $\Delta I$  として、

$$F = 3 - \log \Delta I$$

(35)

と定義した。

空間加重領域の測定 視標の直径は、  
 1.2', 2.2', 3.1', 6.4', 10', 14', 21',  
 28', 33', 60', 79' の11種類。提示時間  
 は 200 ms、背景輝度は 10 asb. であつた。視標  
 の提示位置は、弱視眼の偏心固視部位および  
 健眼の中心窩と鼻側視野の 1°, 2°, 4°, 5°,  
 10° であつた。閾値は最低10試行上下法によ  
 つて決定された。被験者は11才男子 (T.H)、8  
 才女子 (T.A)、11才男子 (H.K) の3名であ  
 った。また、30才男子 (J.K) および27  
 才女子 (M.H) に対しては、弱視眼の中心窩、  
 偏心固視部位および健眼の中心窩ならびに偏  
 心固視部位で測定した (表4)。

### 3. 結果

#### (1) 視感度分布の測定

10例中9例はいずれ

ニ偏心固視部位で視感度が最高であつた。中心窩と偏心固視部位との視感度の差は0.2~0.8 対数単位であつた。次に健眼および弱視眼の中心窩と弱視眼の偏心固視部位ならびに健眼の対応部位(偏心固視点と同じ偏心度の部位)における視感度の結果を表5に示す。6例中5例は固視が安定しており、1例(K. II.)のみ固視が不安定であつた。この5例では偏心固視部位の視感度は健眼の対応部位の視感度に等しいか、より高い値を示した。

(2). 空間加重領域の測定 弱視患者(H. K.)の結果を図33に示す。図33は52-2で述べた方法によつて求めた受容野直径と偏心度の関係を示している。図から、偏心固視部位での受容野直径は健眼の対応する部位での受容野直径に一致することがわかる。一方、図34と図35には、健眼と弱視眼の中心窩での閾値一面積曲線が示されている。弱視眼の中心窩での受容野直径はおおよそ6.4' (M.H.) および10' (J.K.) と健眼のそれよりかなり大きくなる。

っている。J.K.の場合健眼より3倍、M.H.の場合明らかなではないがおそらく2倍、受容野直径が大きくなっている。さて、図36には、各部位における増分閾の平方根 $\sqrt{\Delta I}$ を示している。図から明らかになるように、健眼では、網膜部位との線形関係が確かに成り立ち、偏心固視点での $\sqrt{\Delta I}$ の値は健眼の対応部位のそれとほぼ等しい。つぎに弱視眼の中心窩と偏心固視部位での受容野直径と $\sqrt{\Delta I}$ の関係の1例を図37に示す。図37は、弱視者J.K.のデータである。この場合も、図36に示したJ.K.のデータと同様、偏心固視点での $\sqrt{\Delta I}$ の値は健眼の対応部位のそれとほぼ等しい。一方、弱視眼の中心窩での $\sqrt{\Delta I}$ の値は、健眼のそれのおよそ3倍であった。これはJ.K.の弱視眼の中心窩での受容野直径が健眼のおよそ3倍であるという上述の結果と一致するものである。また、弱視者H.M.の場合も同様に、受容野直径およそ $\sqrt{\Delta I}$ の値が2倍の関係であった。

#### 4. 考察

網膜における視覚の寄せ集め機能としての空間加重効果などを対象として、人間の受容野の profile を心理物理学的手法により決定しようとした試みは今までに数多くみられる。しかし、それらは背景輝度がことなり、測定方法もまちまちである。また受容野の大きさが主として中心でしか測定されていない。しかも装置および検査手続きが煩雑で臨床応用に供し難い難点があった。そこで著者らは眼底視野計を用いて中心視における spatial summation および抑制効果の検討をおこなってきた。

本節では、これをさらに進めて正常被験者ととともに、弱視患者で空間加重効果を検討した。

その結果、以下のような所見を得た。

- 1) 中心窩の視覚感度が他の網膜部位より低下しているものが、10例中9例に認められた。
- また、この9例中8例では、偏心固視点

で視覚感度がもっとも良好であつた。

2) 弱視患者の非弱視眼では空間加重効果の成立する範囲(臨界面積)と網膜の偏心度にはほぼ直線関係を示した。すなわち § 2-2 で述べた結果が確認された。

3) 弱視眼の偏心固視部位は、非弱視眼の同じ偏心度を持つ網膜部位とほぼ同様の空間加重特性を持っていた。

4) 弱視患者の非弱視眼では  $\sqrt{\Delta I}$  の値は網膜偏心度と線形関係にあつた。すなわち、§ 2-3 の結果が確かめられた。

5) 偏心固視点での  $\sqrt{\Delta I}$  の値は健眼の対応部位のそれにほぼ等しかった。

6) 弱視眼中心窩での受容野直径、 $\sqrt{\Delta I}$  の値共に非弱視眼中心窩より大きい値を示した。

以上得られた結果に基づき、弱視眼における神経機構を考察する。従来、弱視の神経機構は、視覚剝奪の動物実験との対応関係から論じられてきた。視覚剝奪によるニューロンの特性の変化として、つぎの三つの可能性が



考えられている。

(i) 受容野直径の増大および閾エネルギーの上昇が見られる場合

(ii) 受容野直径は変化せず、閾エネルギーのみが上昇する場合で、細胞体の萎縮等が原因と考えられる。

(i) のさらに

(i) - (a) 前述のごとく受容野直径の増大に依存したゲインの低下が起こった場合

(i) - (b) (a)に加えて、細胞体の萎縮による閾エネルギー上昇が起こった場合

に分類される。さて、それぞれのデータはいずれの可能性を支持しているのだろうか。

こから3種の場合に対して考えられる閾値-面積曲線 (Area-threshold curve) を図38, 39に示す。図38は、(i) - (a)の場合で、視標面積が臨界面積 ( $N. Am$ ) より大きいとき、健眼の中心窩でも、弱視眼の中心窩でも閾エネルギーは一致している。一方、視標面積が臨界面積より小さいときは、弱視眼の方が閾エネルギーは高

くなることを示している。図39(a)と図39(b)はそれぞれ(i)-(b)、(ii)の場合を示しているが、両者とも閾値-面積曲線の視標面積にかかわらず一致しない。わけわけは、図38に示した閾値-面積曲線を得た。すなわち、臨界面積を越える視標を使用したときに健眼、弱視眼とも同一の閾値（もしくは視覚感度）を示し臨界面積より小さいときは、弱視眼の方が健眼より数倍高い閾値を示した。この事実には、神経節細胞の閾値そのものは変化しておらず、健眼において偏心度に応じて小面積の視標に対する閾が式(1)に従って変化した現象と同一の原理に基づくものであると考えられる。

## § 2-9. 異常環境下における受容野特性 の変化(Ⅱ)偏心固視眼における 視力分布<sup>1</sup>

弱視眼における視感<sup>度</sup>分布が詳細に検討されているにもかかわらず、視感度が視力とどのように関連しているのか明らかではない。また、弱視眼の偏心視力についても十分検討されていない。本節では正常眼および偏心固視眼における視力分布をしらべた。

### 1. はじめに

§ 2-8-1 で述べたように近江ら(1981, 82)が、赤外線 Fundus Haploscope を用いて、網膜対応異常について詳細にしらべた結果、偏心固視弱視の場合、偏心固視点が $3^{\circ}$ 以内の場合には網膜異常対応(ARC)、 $3^{\circ}$ 以上の場合には対応欠如であった。一方、偏心固視眼の視感度分布をしらべた結果、偏心固視眼においては

(脚注1) 乾 敏郎、近江栄美子他(1982)および乾 敏郎、近江栄美子(1983)参照。

中心窩における視感度の悪く、ほとんどのものが偏心固視点で多少とも視感度が良好であった。さらに、空間加重効果をみることによって、偏心固視点における受容野直径の健眼の対応部位におけるそれにほぼ等しいことが明らかにされた。また、偏心固視眼の中心窩での受容野直径は、正常のものより広くなっていることが明らかにされた。本節では偏心固視眼における視力分布をしらべ、感度(光覚閾)と比較する。

## 2. 実験方法

赤外線 Fundus Haploscope を用いて、眼底をモニターしながら視感度および偏心視力の測定を行った。背景輝度の10 asb で、視野の中心にある固視標を注視させて、まず偏心固視点を決定した。続いて、偏心固視点およびその両側で、視感度ならびに偏心視力を測定した。ランドルト環は、0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1、0.15、0.2 の8種類あり、ランド

ルト環の部分の輝度は  $1000 \text{ asb}$  であった。極限法上昇系列によつて視力が決定された。視感度の視標は、直径  $4'$  の円形であった。視力と同様、極限法によつて増分閾が決定された。視標の提示時間は、いずれも  $200 \text{ ms}$  であった。正常眼に対しては Landolt 環をスクリーンに投影する方法によつて、偏心視力（おまげ、その逆数である最小分離閾 M.A.R.）をしらべた。

10 被験者 5才から22才までの偏心固視弱視患者7名である。被験者の臨床所見を表6に示す。

### 3. 結果

被験者 Y.N., T.K., A.Y. の3名の、弱視眼における偏心視力を図40に示す。図中の矢印は、偏心固視部位を示している。3名とも、偏心固視部位での視力がもっともよく、偏心固視部位を含む中心視野において、視力のグレンジエントが得られた。3名の偏心固視部位で

の視力の平均値は0.092であった。一方、他の被験者4名の弱視眼における偏心視力を図4に示す。これらの被験者においては、偏心固視部位での視力が、他の網膜部位よりも悪くはないものの、偏心固視部位を含む中心視野ではほとんど視力の変化は認められなかった。4名の偏心固視部位での視力の平均値は0.07であった。Y.N., T.K., A.Y.の3名は、偏心固視部位が $4^{\circ}$ 以内であり、他の4名の被験者はN.Y.を除いて偏心固視部位が $4^{\circ}$ 以上であった。また表6から明らかになるように、偏心度の小さいものはARCであった。

#### 4. 考察

偏心固視眼の視力分布の形状と、網膜対応の観察で得られた分類（対応欠如 V.S. ARC）との間に相関関係がみられたことは興味深い。Avetisov（1977）は、偏心固視の視力分布を調べた結果、偏心固視点の視力がもっとも良好であるとしているが、この結果は、上記

の2種類の偏心固視患者を平均してしまっただけであらう。本結果は、Hess と Jacobs (1979) の結果と一致している。また、従来、正常眼と弱視眼の視力に差がみられるのは偏心度が $5^{\circ}$ ～ $10^{\circ}$ 以内の中心部に限られるといわれていた (Kirschen and Flom, 1978; Hess and Jacobs, 1979)。本研究では、正常眼での偏心視力を測定していないが、通常、偏心度 $10^{\circ}$ の位置で $0.1 \sim 0.2$ の視力が得られる。本結果では、 $0.1$ 以下の視力を示すものが多く、このことは、さらに広い範囲で視力の差が見られることを示唆している。

Levi (1981) によれば、エッジに対する最も狭い感度曲線は偏心固視部位で見出されるという。しかし、彼らの偏心固視眼に対する症例数は2名と少なく、本結果から、中心領域であまり変化しない症例も存在するものと推察される。また、Beyerstein と Freeman (1977) は、弱視眼において側抑制の強さが減弱していることも報告しているが、視力低下

が側抑制の強さの減弱であるのかどうか今後さらに検討すべきである。



## § 2-10. 第2章の要約および考察

本章では、視覚系における最も低次の水準における処理単位とその相互作用について筆者の研究を中心に論じた。

まず、閾値-面積曲線から受容野の面積を測定し、ついで測定された面積がヒトの単一のニューロンの受容野であることをいくつかの実験によって確かめた。また刺激の時間的提示法を変化することによって、このようにして測定されたものがヒトのY細胞の受容野特性であることが明らかにされた。本節では特に取り上げなかったが、このようにして得られたY細胞の特性とFlicker感度が密接に関連していることも確かめている(乾、近江ら1983)。一方、X細胞と考えられる受容野直径は偏心度に依存せずほぼ一定であった。本論文で述べたX細胞およびY細胞の特徴を以下に要約する。

1. X細胞の受容野中心<sup>部</sup>は偏心度 $9^{\circ}$ まで変化

- せずほぼ一定であり、その直径は約  $56'$  である。
2. Y細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は偏心度とともに線形に上昇し、中心窩で約  $46'$ 、偏心度  $10^\circ$  で約  $13'$  である。
  3. Y細胞の受容野周辺<sup>部</sup>は受容野中心<sup>部</sup>の約  $3$  倍であり、抑制性に働く。
  4. 視力を決定する細胞は on-off 刺激に対する感度を決定する細胞と異なることが明らかにされた。
  5. 偏心固視患者においては、Y細胞の受容野の直径は偏心固視部位が最小であり、偏心固視部位からの距離に依存して線形に増加する。

De Monasterio ら (1975, 1981) は、サルの X 型細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は偏心度にあまり依存せずほぼ一定で約  $36'$  であり、Y 型細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は網膜偏心度とほぼ線形関係にあり、中心窩で平均  $26'$ 、偏心度  $10^\circ$  で約  $20'$  であることを報告している。一方、解剖

112  
部

学的研究からサルのX細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は偏心率 $\rho$ が一定で約 $\sqrt{2}$ であり、X細胞の受容野中心<sup>部</sup>の直径は偏心率 $\rho$ が $\sqrt{2}$ 、偏心率 $\rho$ が $\sqrt{2}$ であるという (Perry & Cowey, 1981)。したがって上記のヒトにおける受容野特性はサルの単一細胞の特性にきわめて近いことがわかる。

Drasdo (1977) は、ヒトの神経節細胞の受容野密度  $D_r$  ( $1 \text{ deg}^2$  あたりの受容野の数) を推測する式を計算している。それによると  $1/\sqrt{D_r}$  と偏心率  $e$  ( $\text{deg}$ ) の関係は近似的に

$$\frac{1}{\sqrt{D_r}} = 0.0055 (1 + 0.59 \cdot e) \quad (37)$$

であるという。この式から  $1 \text{ mm}^2$  あたりの神経節細胞数が Osterberg (1955) のデータに基づいて計算した錐体密度を表7に示す。つぎに心理物理学的方法によって得られた受容野直径から Shannon の標本化定理によって信号の復元に必要な受容野密度を計算する。

関数  $u(x)$  の Fourier 変換が空間周波数  $w$  より

大きい周波数に対して0であるとき、間隔  $\Delta x = 1/2W$  に標本点  $x_k = k\Delta x$ 、 $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$  をとり、 $u_k = u(x_k)$  とすれば

$$U(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_k \cdot g(x - x_k) \quad (38)$$

により与えられることが知られている。ここに  $g(x)$  は

$$g(x) = \frac{\sin(2\pi Wx)}{2\pi Wx} = \text{sinc}(2\pi Wx) \quad (39)$$

である。この関係を Shannon の標本化定理と呼ぶ。ここに  $g(x)$  を近似的に受容野の感度分布とみなし、細胞が六方格子状に配列されているとすると間隔は  $\Delta x = 1/\sqrt{3}W$  と与えられる。また、 $g(x)$  から受容野直径は  $1/W$  と与えられる。

たとえば X 細胞の受容野直径は  $s/6'$  ( $= 1/W$ ) なのだと、 $1/s/6'$  ( $= \sqrt{3}W$ ) に 1 個必要である。また Y 細胞の受容野直径は中心窩では  $s/6'$  なのだと  $s/6'$  に 1 個必要である。しかし、X 細胞も Y 細胞も on 中心型と off 中心型が存在するの

で2倍の数が必要となる。このようにして求めた受容野密度も表7に示した。表から実際の受容野密度は偏心度 $3^{\circ}$ 以内でのみ必要数を満足していることがわかる。偏心度 $4^{\circ}$ 以内ではいわゆる重複歪 (aliasing) を生ずることになる。

ところで、De monasterio や Cowey らはX細胞は midget ganglion cell であると考えているが、もしそうだとすれば、錐体1個から入力を受けていることになり、上記の結論はさらにきびしい方向に修正されるであろう。

## §2-11. 引用文献

- 1) Avetisov, E.S. (1979) Visual acuity and contrast sensitivity of the amblyopic eye as a function of the stimulated region of the retina. American J. Opto. and Physiol. opt., 56, 465-469.
- 2) Barlow, H.B., Fitzhugh, R., Kuffler, S.W. (1957) Change of organization in the receptive fields of the cat's retina during dark adaptation. J. Physiol., 137, 338-354.
- 3) Barlow, H.B. (1958) Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities, J. Physiol., 141, 337-350.
- 4) Bouman, M.A. (1950) Quanta explanation of vision, Documenta Ophthalmol., 4, 23-115.
- 5) Bouman, M.A. and Blokhuis, E.W.M. (1952) The visibility of black objects against an illuminated background, J. Opt. Soc. Amer., 42, 617-620.
- 6) Campbell, F.W., and Gubisch, R.W. (1966) Optical quality of the human eye. J. Physiol., 186, 558-578.
- 7) Chino, Y.M., Shansky, M.S. and Hamasaki, D.I. (1980) Development of receptive field properties of retinal ganglion cells in kittens raised with a convergent squint. Exp. Brain Res., 39, 313-320.
- 8) Creutzfeldt, O.D., Sakmann, B., Scheich, H., and Korn, A. (1970) Sensitivity distribution and spatial summation within receptive field center of retinal on-center ganglion cells and transfer function of the retina. J. Neurophysiol., 33, 654-671.

- 9) Cleland, B.G. Levick, W.R. and Sanderson, K.J. (1973) Properties of sustained and transient ganglion cells in the cat retina. *J. Physiol.*, 228, 649-680.
- 10) Cleland, B.G., Harding, T.H., and Tulumay-Keesey, U. (1979) Visual resolution and receptive field size: Examination of two kind of cat retinal ganglion cell. *Science*, 205, 1015-1017.
- 11) De Monasterio, F.M. and Gouras, P. (1975) Functional properties of ganglion cells of the rhesus monkey retina. *J. Physiol.*, 251, 167-195.
- 12) De Monasterio, F.M., Gouras, P. and Tolhurst, D.J. (1975) Concealed colour opponency in ganglion cells of the rhesus monkey retina. *J. Physiol.*, 251, 217-229.
- 13) De Monasterio, F.M. (1978) Properties of concentrically organized X and Y ganglion cells of macaque retina. *J. Neurophysiol.*, 41, 1394-1417.
- 14) Enroth-Cugell, C. and Robson, J.G. (1966) The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *J. Physiol.*, 187, 517-552.
- 15) Enroth-Cugell, C. and Shapley, R.M. (1973) Flux, not retinal illumination, is what cat retinal ganglion cells really care about, *J. Physiol.*, 233, 311-326.
- 16) Fiorentini, A. (1972) Mach band phenomena. In D. Jameson and L.M. Hurvich (Eds.) *Visual Psychophysics*. Springer-Verlag.
- 17) Glezer, V.D. (1965) The receptive fields of the retina, *Vision Res.*, 5, 497-525.



- 18) Gouras, P. (1968) Identification of cone mechanisms in monkey ganglion cells. *J. Physiol.*, 199, 533-547.
- 19) Hallet, P.E., Marriott, F.H.C. and Rodger, F.C. (1962) The relationship of visual threshold to retinal position and area, *J. Physiol.*, 160, 364-373.
- 20) Hecht, S., Schlaer, S. and Pirenne, M.H. (1942) Energy, quanta, and vision, *J. Gen. Physiol.*, 25, 819-840.
- 21) Higgins, K.E., and Rinalducci, E.J. (1975) Suprathreshold intensity-area relationships: A spatial Broca-Sulzer effect. *Vision research*, 15, 129-143.
- 22) Hubel, D.H. and Wiesel, T.N. (1965) Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint. *J. Neurophysiol.*, 28, 1041-1059.
- 23) Ikeda, H. and Wright, M.J. (1976) Properties of LGN cells in kittens reared with convergent squint: A neurophysiological demonstration of amblyopia. *Exp. Brain Res.*, 25, 63-77.
- 24) Ikeda, H., Plant, G.T. and Tremain, K.E. (1977) Nasal field loss in kittens reared with convergent squint: Neurophysiological and morphological studies of the lateral geniculate nucleus. *J. Physiol.*, 270, 345-366.
- 25) Ikeda, H., Tremain, K.E. and Eimon, G. (1978) Loss of spatial resolution of lateral geniculate nucleus neurones in kittens raised with convergent squint produced at different stages in development. *Exp. Brain Res.*, 31, 207-220.
- 26) Ikeda, H., and Tremain, K.E. (1979) Amblyopia occurs in retinal ganglion cells in cats reared with convergent squint without alternating fixation. *Exp. Brain Res.*, 35, 559-582.

- 27) 乾 敏郎, 三村 治 (1981) 光覚の生理学的基礎  
医用電子と生体工学 22, 1-8.
- 28) 乾 敏郎, 三村 治, 宮本 健作 (1981) 視力を決定する神経機構について  
神経研究の進歩 25, 198-213.
- 29) Inui, T., Mimura, O., and Kani, K. (1981) Retinal sensitivity and spatial summation in the foveal and parafoveal region. Journal of the Optical Society of America, 71, 151-154.
- 30) 乾 敏郎, 三村 治, 可児 一孝 (1983) 点刺激による空間加重領域ならびに抑制領域の検討: 網膜偏心度との関係 日本基礎心理学会誌 1, 77-86.
- 31) 乾 敏郎, 三村 治, 近江栄美子 (1981) 正常眼および弱視眼における受容野直径と増分閾 眼科臨床医報 7, 72-77.
- 32) 乾 敏郎, 近江栄美子 他 (1982) 正常眼および弱視眼における視力と感度 臨床眼科 36, 502-503.
- 33) 乾 敏郎, 近江栄美子 (1983) 偏心圓視眼における視力と感度 眼科臨床医報 77, 2009-2012.
- 34) 乾 敏郎, 宮本 健作 (1979) 視覚系における時空間特性 心理学評論 21, 340-360.
- 35) Inui, T., Ohmi, E., and Mimura, O. (1984) Receptive field diameter and square root of the increment threshold in normal and amblyopic eye. (submitted for publication)
- 36) 乾 敏郎, 近江栄美子, 可児 一孝 (1983) フリッカー感度と受容野面積との関係について 眼科臨床医報 77, 1126-1130.
- 37) Kani, K., and Ogita, Y. (1979) Fundus Controlled perimetry. Documenta Ophthalmologica Proceeding Series, 19, 341-350.
- 38) Kelly, D.H. (1972) Adaptation effects on spatio-temporal sine-wave thresholds. Vision Res., 12, 89-101.

- 39) King-Smith, P.E. and Kulikowski, J.J. (1975) Pattern and flicker detection analysed by subthreshold summation. *J. Physiol.*, 249, 519-548.
- 40) Kirschen, D.G., and Flom, M.C. (1978) Visual acuity at different retinal loci of eccentrically fixating functional amblyopes. *Am. J. Opt. and Physiol. Opt.*, 55, 144-150.
- 41) König, A. (1897) Die Abhängigkeit der Sehscharfe von der Beleuchtungsintensität. *Sitzber. Akad. Wiss. (Berlin)*, 35, 559-575.
- 42) Kries, J. (1907) Über die zur Erregung des Sehorgans erforderlichen Energiemengen, *Z. Sinnesphysiol.*, 41, 373-394.
- 43) Kuffler, S.W. (1953) Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *J. Neurophysiol.*, 16: 37-68.
- 44) Limb, J.O., and Rubinstein, C.B. (1977) A model of threshold vision incorporating inhomogeneity of the visual field. *Vision Research*, 17, 571-584.
- 45) Levi, D.M., Harwerth, R.S., Pass, A.F., and Venverlo, J. (1981) Edge sensitive mechanisms in human with abnormal visual experience. *Exp. Brain Res.*, 43, 270-280.
- 46) Marrocco, R.T. (1972) Maintained activity of monkey optic tract fibers and lateral geniculate nucleus cells. *Vision Res.*, 12, 1175-1181.
- 47) 三村治、可児一孝、乾敏郎 (1979) 眼底視標による人眼受容野の心理物理学的検討 *日本眼科紀要* 30, 1543 — 1547.
- 48) Mimura, O., Inui, T., Ohmi, E., and Kani, K. (1984) Distribution of retinal sensitivity in amblyopia with eccentric fixation. (submitted for publication)
- 49) 三村治、下奥仁、乾敏郎 (1981) 視覚剥夺実験における最近の知見 *眼科* 23, 375 — 386.

- 50) Perry, V.H., and Cowey, A. (1981) The morphological correlates of X- and Y-like retinal ganglion cells in the retina of monkeys. *Experimental Brain Res.*, 43, 226-228.
- 51) Peichl, L. and Wässle, H. (1979) Size, scatter and coverage of ganglion cell receptive field centres in the cat retina. *J. Physiol.*, 291, 117-141.
- 52) Rodieck, R.W. and Stone, J. (1965) Analysis of receptive fields of cat retinal ganglion cells, *J. Neurophysiol.*, 28, 833-849.
- 53) Shlaer, S. (1937) The relation between visual acuity and illumination. *J. Gen. Physiol.*, 21, 165-188.
- 54) Shlaer, S., Smith, E.L., and Chase, A.M. (1942) Visual acuity and illumination in different spectral regions. *J. Gen. Physiol.*, 25, 553-567.
- 55) Slon, L.L. (1968) The photopic acuity-luminance function with special reference to parafoveal vision. *Vision Res.*, 8, 901-911.
- 56) Smith, R.A. (1973) Luminance-dependent changes in mesopic visual contrast sensitivity. *J. Physiol.*, 230, 115-135.
- 57) Stone, J. and Fukuda, Y. (1974) Properties of cat retinal ganglion cells: A comparison of W-cells with X- and Y-cells. *J. Neurophysiol.*, 37, 722-748.
- 58) Virsu, V. (1974) Dark adaptation shifts apparent spatial frequency. *Vision Res.*, 14, 433-435.
- 59) Virsu, V. and Vuorinen, R. (1975) Dark adaptation and short-wavelength backgrounds decrease perceived size. *Perception*, 4, 19-34.
- 60) Weale, R.A. (1958) Retinal summation and human visual threshold, *Nature, Lond.*, 181, 154-156.

- 61) Westheimer, G. (1967) Spatial interaction in human cone vision. *J. Physiol.*, 190, 139-154.
- 62) Weymouth, F.W. (1958) Visual sensory units and the minimal angle of resolution. *Am. J. Ophthalmol.*, 46, 102-113.
- 63) Wilson, M.E. (1970) Invariant features of spatial summation with changing locus in the visual field. *J. Physiol.*, 207, 611-622.
- 64) Wilson, H.R. (1978) Quantitative characterization of two types of line spread function near fovea. *Vision Res.*, 18, 971-981.
- 65) Wilson, H.R., and Bergen, J.R. (1979) A four mechanism model for threshold spatial vision. *Vision Res.*, 19, 19-32.
- 66) Wiesel, T.N., and Hubel, D.H. (1966) Spatial and chromatic interaction in the lateral geniculate body of the rhesus monkey. *J. Neurophysiol.*, 29, 1115-1156.
- 67) Zwaardemaker, H. (1905) Die physiologisch wahrnehmbaren Energiewanderungen, *Ergebn. Physiol.*, 4, 423-480.

### 第3章 特徴抽出過程における処理様式

視覚系の感覚記憶 (sensory storage) に入力された情報は、特徴が抽出され体制化されて一つの視覚像が形成される。本章では、特徴抽出過程における処理様式および特徴検出器間の相互作用について考察する。

key word : 特徴抽出、網膜-皮質拡大因子、継時処理  
並列処理、確率的独立性、内的走査  
前注意過程、集中的注意過程

#### § 3 - 1. 心理学的ならびに生理学的背景<sup>1</sup>

##### 1. 特徴抽出に関する生理学的知見

§ 2 - 1 で述べたように、網膜に入ってきた光情報の電気信号に変換された後、外側膝状体と呼ばれる中継核を経て、大脳の視覚野に達する。10万本の視神経は、外側膝状体の5倍

(脚注1) 乾敏郎、宮本健作(1979)参照。

に枝分かれし、さらに、視野では約10倍に枝分かれする。複雑だが秩序立った神経回路網を経て、大脳の視覚領において、既に位置、大きさ、色、線の方角などの情報がある程度処理されていると考えられている。

各ニューロンは、網膜において受光領域をもっており受容野 (receptive field) と呼ばれている。すなわち、各ニューロンは網膜上の特定の位置をモーターしている。Hubel と Wiesel (1959, 1962, 1965, 1968) は、視覚領のニューロンを、機能的特性 (functional characteristics) によって分類した。すなわち、単純型細胞 (simple cell)、複雑型細胞 (complex cell)、低次複雑型細胞 (lower-order hypercomplex cell)、高次複雑型細胞 (higher-order hypercomplex cell) の4つである。詳しい説明はここでは省略するが、これらには、端点のある特定方向の線を検出しているらしい (edge detector, line detector)。受容野の位置がほぼ同じで、同じ方向特性 (preferred orientation)

を持つニューロンは、皮質表面に垂直な小柱 (column) をなしている。各 column

のニューロンの preferred orientation は、皮質表面にそって徐々に変化し (continuous representation, Albus, 1975),  $500 \sim 500 \mu\text{m}$  の中にすべての方向の小柱が含まれている (Albus, 1975)。

サルの視覚領には、無方位型細胞も多い (Gouras, 1974)。中心窩付近に受容野を持つこの種のニューロンは反対色型の反応を示す。一般に、アカゲザルでは、単純型細胞と複雑型細胞にも反対色型細胞のものと、色特異性のない broad-band 型のものがある。単純型細胞の中央の興奮領域の幅は  $0.1^\circ \sim 0.3^\circ$  でその大きさは偏心度により依存しない (Schiller ら, 1976)。一方、複雑型細胞の受容野の大きさは偏心度とともに大きくなる (Shiller ら, 1976)。Poggio ら (1975, 1977) によれば、平均の受容野の大きさは中心窩付近では  $0.1^\circ \sim 0.3^\circ$  である。既に述べたように網膜神経節細胞ではサルにおいて時空間特性から X 型



と Y 型細胞が存在することが明らかにされて  
いる。この分類は外側膝状体でも存在する (Marrocco, 1976; Kaplan & Shapley, 1982; Hicks, et al., 1983)。しかし、サルの場合、視覚領での X/Y の分類はいまだ行われていない。一方、ネコではこの二つの分類は LGN でも行われている (Cleland, Dubin and Levick, 1971; Hoffman, Stone and Sherman, 1972), 又、視覚領でも明らかにされている (Ikeda and Wright, 1974, 1975a, 1975b)。そして X 型神経節細胞は X 型 LGN neuron に、さらに X 型の striate neuron につながっている。Y 型も同様である (Hoffman and Stone, 1971)。視覚領の Y 細胞の光刺激に対する潜時は 50 msec のオーダーであり、一方 X (単純) 細胞の潜時は約 100 msec である (Dow, 1974)。

### ヒトと動物における空間周波数分析

ヒトにおける視覚の心理物理学と誘発電位  
の研究

ヒトの視機能を定量化一方法として、空間周波数応答特性の測定がある。すなわち、種々の空間周波数をもつ正弦波格子のコントラスト閾を測定するものである。この方法は、次の二点に基礎をおいている。第1に、正弦波があらゆる形の最も基本的なパターンである (Fourier 展開) ということ、第2に、ヒトの視覚系をブラックボックスとしてその系の特性が記述できるということである。図42は、コントラスト閾測定のためディスプレイに提示された矩形波格子と正弦波格子およびそれらの輝度分布を示している。図に明らかに、 $(L_{\max} + L_{\min})/2 = L_0$  が平均輝度レベルになり、この場合の  $(L_{\max} - L_{\min})/(L_{\max} + L_{\min}) = m$  をコントラストと定義する。視角1°当りのパターンのくりかえし数を空間周波数と呼び、単位は cycle/deg で与えられる。このとき、空間周波数  $f$  の正弦波格子は、 $L(\%) = L_0 (1 + m \times \cos(2\pi f x))$  と書くことができる。このような格子の周期構造が知覚さ

れうる最小のコントラストを、刺激認知閾（または単にコントラスト閾）と呼ぶ。種々の空間周波数をもつ正弦波格子の刺激認知閾を測定することにより、人の視覚系の空間周波数応答特性を知ることが出来る。

次に、図43は、Blakemore と Campbell (1969) による空間周波数応答特性の1例を示している。正弦波格子は、直径  $1.5^\circ$  のオシロスコープ (CRT) 上に提示され、ディスプレイの平均輝度は  $100 \text{ cd/m}^2$ 、ディスプレイまでの距離は  $290 \text{ cm}$  であり、格子は1秒間に2回 on-off し、被験者調整法により、その閾値を測定し、閾値の逆数を感度とした。図43から、ヒトの視覚系は low-pass filter (空間周波数帯の低域のみを通過させるろ波器) 型の特性を示すことがわかる。また、約  $40 \text{ c/deg}$  で感度1.0であることから、被験者の視力はおよそ  $1/40$  であることも理解される。これは、あくまで心理物理学的研究であって、ヒトの脳における微細構造との関係については全く論じられ

りい。

他方、Campbell と Maffei (1970) は、ヒトの脳波を分析することによ、て、心理物理学的数据との比較を試みている。オシロスコープに正弦波格子を提示し、それを  $8\text{Hz}$  で  $180^\circ$  位相を逆転させる。その際、誘発電位を被験者の後頭部隆起点 (inion) と、そこから  $2.5\text{cm}$  側方の部位とを、双極誘導法によ、て記録した。誘発電位は  $8 \sim 25\text{Hz}$  の band-pass filter を通し、それを加算平均することによ、て得られた。図44は、 $4\text{c/deg}$  の正弦波格子を閾上のコントラストで提示したときに得られた誘発電位を1000回加算平均した記録である。band-pass filter, を通すことによ、て、誘発電位は正弦波状になり、その振幅も容易に測定できるようなる。図45は、種々のコントラストで正弦波格子を提示したときの誘発電位の振幅を示している。3種の空間周波数すなわち、3、5、9、 $18\text{c/deg}$  の正弦波格子に対する結果が、それぞれ黒丸、白丸、正方形で

表示されている。各々のデータの回帰直線を求め、誘発電位の振幅が  $0V$  になる（グラフの横軸との交点）コントラストを脳波上の閾値と推定する。このようにして、推定された脳波上の感度（閾値の逆数）と空間周波数の関係は、図46に黒丸で示されている。同時に、心理物理学的に得られた感度を白丸で示すと、その結果両者がかなりの精度で一致する。すなわち、視覚領ニューロンの活動によって心理物理学的閾値が決定されていることを示している。

Campbell ら (1973) は、視覚誘発電位によって平均輝度  $20 \text{ cd/m}^2$  の条件下でネコの空間周波数特性をしらべたが、方法は前述の Campbell と Maffei (1970) と同じである。図47は、その結果を示している。図中の a, b, c は、各記録部位におけるニューロンの最適周波数分布で、全体の分布は  $0.2 \sim 4 \text{ c/deg}$  に広がっていることがわかる。最後に、Bisti と Maffei (1974) が得た条件行動によるデータと、Campbell

ら(1973)の視覚誘発電位によるデータがきわめてよく一致することを図48に示す。白丸と黒丸は、条件行動によるデータ、破線は図47の誘発電位によるデータを示している。

Maffei と Fiorentini (1973)は、ネコを用いて視覚領ニューロンの空間周波数特性を調べた。被験体の眼に散瞳剤(アトロピン)を点眼した後、直径4mmの人工瞳孔から、眼前5cmの距離にあるスクリーンを注視させた。その成績によると、28個の単純型細胞はすべて狭帯域に同調して、最適周波数は $0.2c/deg \sim 2c/deg$ に分布していた。それに対して、23個の複雑型細胞は、広帯域に同調し、その最適周波数は $0.25 \sim 0.7c/deg$ で低域に分布していた。従って、視機能は単純型細胞によって決まると考えられる。また、Campbellら(1969)によると、ネコ視覚領ニューロンの最適周波数の限界は、 $4c/deg$ である。この事実が、前節までに述べた条件行動による研究や誘発電位によって得られた空間周波数特性の結果

ときわめてよく一致することは興味深い。

Poggioら(1977)は、無麻醉サル(リーザス)の皮質17野ニューロンの空間周波数特性を調べた。サルの前方14cmの位置に視覚刺激として $4^\circ$ の大きさで矩形波格子を提示したが、その平均輝度レベルは $0.5 \text{ cd/m}^2$ であった。静止した刺激(格子)に反応した40個のニューロンは狭帯域に同調され、最適周波数は $4 \sim 10 \text{ c/deg}$ に分布していたが、9個のニューロンはさらに高周波の $12 \sim 21 \text{ c/deg}$ に最適周波数をもっていた。これらの事実は、心理学的レベルにおける視機能が、単一ニューロンの機能に対応していることを意味する。

## 2. 特徴抽出に関する心理学的知見

Helmholtzが「生理光学(Physiological Optics)」を公刊してから一世紀以上が経過している。当時、Helmholtzの弟子であったロシアの研究者 Nikolai Ignatyevich Baxt (1842-1904)は、彼の指導のもとに視知覚の研究を行ない、ま

た。彼は最初、神経興奮の伝導速度の研究に従事していたが、その後、Exner(1868)の影響を受けて視知覚の研究を行なった。Bart(1871)の使用した装置はHelmholtzが設計したものであり、視標を短時間提示することは可能であった。その当時から、視標を短時間提示する装置は、タキストスコープ(tachistoscope)と呼ばれていた。

Bart(1871)の研究で重要なものの、今日視覚マスキングと呼ばれる現象を発見していることである。すなわち以上の視覚刺激が適当な間隔を置いて続けて提示されると、特定の刺激に対する知覚が何らかの形で妨害される現象を、視覚マスキングと言う。一方の刺激に対する知覚を妨害する刺激をマスキング刺激と呼び、他方の妨害される側の刺激すなわち、検査の対象となる刺激をテスト刺激又はターゲット刺激と呼ぶ。

先に提示されるマスキング刺激が、後で提示されるターゲット刺激に及ぼす妨害効果を



順向マスティング、逆の提示順序での妨害効果を逆向マスティングと言う。

メタコントラストと呼ばれるものは、ターゲットとマスクの SOA が  $80 \sim 100 \text{ ms}$  のとき最大のマスクが得られる逆向マスティングのことで、通常ターゲット刺激を囲む円刺激や近接する刺激を用いたときに得られる(図49)。メタコントラストはターゲットとマスクの空間的距離が小さいときに得られ、ターゲットが中心部に提示されるとき、距離が  $0.5^\circ$  のとき  $\text{SOA} = 110 (\text{ms})$ 、 $0.35^\circ$  のとき  $\text{SOA} = 90 - 100 (\text{ms})$ 、 $1^\circ$  のとき  $\text{SOA} = 80 (\text{ms})$  で最大のマスク効果が得られる (Alpern, 1953)。しかもメタコントラストはダイコプティックに生ずることから視覚願レベルで生じていると考えられている。

メタコントラストで重要なことは「刺激提示後、 $80 \sim 100 \text{ ms}$  経過してもいまだ形の知覚が生じていない」という事を示唆していることである。

Breitmeyer と Ganz (1976) は、前述のネイズで調べられたように、ヒトでも Y チャネルから X チャネルに抑制がかかるという仮定のもとで、このメタコントラスト現象を説明した。図 49 は、彼らのモデルを示している。それによれば、ターゲットが提示されるとまず Y チャネルによってターゲットの存在に関する情報が速やかに伝達される。続いて、X チャネルによってターゲットの形状に関する情報が比較的ゆっくり伝達される。次にマスクパターンが提示されると、マスクパターンの存在に関する情報が Y チャネルを通って速やかに伝達される。いま、ターゲットとマスクパターンの SOA が 80ms くらいになると、X/Y の情報伝導速度に差があるため、マスクパターンの存在を伝える Y チャネルの信号が、ターゲットの形状を伝える信号を外側膝状体および視覚領域において抑制する。その結果、視覚領域にはターゲットの形状に関する情報は伝わらなくなるが、提示された

時点や位置の情報は伝わるというものである。彼らのモデルでは、X/Yの機能差および伝導速度の差により、前述のメタコントラスト現象が生じると考えられている。

心理学的研究によれば、網膜に入ってきた情報は一旦VISと呼ばれるバッファメモリに貯蔵され、そこから特徴が抽出されると考えられている（Sperling, 1963, 彼のデータによる情報処理モデル Rumelhart, 1970）。VISは、最大持続時間は約200msであり、未だ意識にのぼらない（pre-perceptual）段階であるが、既に位置、大きさ、色の処理は終わっているらしい（Von Wright, 1968; Turvey and Kravetz, 1970）。それゆえVISは感覚記憶に対応される。VISは、大脳の視覚領あるいはそれ以下の部位をも含んだ系に対応すると考えられている（生理学的研究 Bridgeman, 1975; 心理学的研究 Turvey, 1973）。VISに貯蔵された情報は視覚的に符号化され統合されて形の知覚が生ずるらしい。この過程において、後述す

る注意 (attention) や記憶系が介入する (Rumelhart, 1977)。形成された視覚像は、視覚短期記憶 (Visual STM) に貯蔵される。

逆向マス킹は、先行刺激であるターゲットの知覚が後続のマス킹パターンによって妨害されるというものである。これは、VIS からターゲットパターンの特徴抽出を途中でマス킹パターンがカットしたものであると考えられている。この手法と、短時間提示法とを組み合わせる事によって、VIS の持続時間が  $200\text{ msec}$  である事が明らかにされている (Sperling, 1960, 1963)。既にメタコントラストでは、ターゲットの提示された時点はわかるが、何が提示されたのかわからないこと、およびターゲットの形の知覚には少なくとも  $80 - 100\text{ ms}$  の時間が必要であることを述べた。最後に、視覚領域に達するまでの時間が情報のちがひ (ここでは空間周波数の差) によって異なることを示しておく。まず脳波による研究から、空間周波数が高くなる

と視覚誘発電位の潜時が遅くなることが知られている。Parker と Salzen (1977) は、 $6^\circ$  の円形視野にコントラスト 0.5 の正弦波格子を 0.8 Hz で on-off させることにし、後頭部から導出した誘発電位を記録した。刺激を視野の上部に提示した場合と、下部に提示した場合との誘発電位の潜時が異なるため (Jeffreys & Axford, 1972)、刺激は視野の上部に限って提示した。誘発電位の記録部位は、後頭部隆起点から頭蓋頂への正中線上に 4 cm の間隔をおいて 6 か所である。その結果は図 50 に示されるごとく、誘発電位の初期の陰性成分  $\{N(90-140 \text{ ms})\}$  と陽性成分  $\{P(140-180 \text{ ms})\}$  の潜時は、正弦波格子の空間周波数の増加に伴い著しい延長した。このことは、視覚系の情報伝導速度が、刺激の空間周波数の増加とともに遅くなることを示唆している。この Parker と Salzen (1977) の結果は、Breitmeyer (1975) や Vassilev と Mitov (1976) らの単純反応時間の測定結果と同じ傾向を示

している。しかし、空間周波数に依存して、コントラスト閾が異なるため、閾上の一定値のコントラストで実験を行なった場合、反応時間や脳波の潜時に対してコントラストが影響しているのか、あるいは空間周波数その自体が影響しているのかという点については明らかではない。そこで Vassilev と Strashimirov (1979) は各周波数に対する検出閾よりも倍高いコントラストで視覚誘発電位を測定し、同様の結果を得ている。また Williamson ら (1978) は神経磁気反応 (neuromagnetic response) から同様の結果を得ている。

## § 3-2. 側方干渉が生ずる範囲と網膜偏心度の関係<sup>1</sup>

これまでも同時に提示された文字間の干渉効果についてさまざまな検討がなされてきた。そして、この効果が視覚領域にある線検出器間の相互作用によるものと考えられてきた。本節では、これまでも公刊された干渉効果に関するデータをヒトの網膜-皮質拡大因子を考慮して線検出器間の相互作用の規則性について考察を行なう。

### 1. 網膜-皮質拡大因子

ネコとサルにおける皮質拡大因子

Albus (1975) は、網膜-皮質の投射様式を調べるために、皮質(1°野)内で記録電極を皮質表面の接線方向に進めていき<sup>2</sup>、ニューロンの受容野を順次プロットした。その結果、近接しているニューロンの受容野はたがいに重なり合っており、しかも受容野の中心は規則

(脚注1) Inui (1983) 参照。

(脚注2) tangential penetration

的にある方向に移動しているのではなく、かなりばらついている (random scatter) ことが明らかにされた。しかし、電極を比較的大きな間隔 ( $600\text{ }\mu\text{m}$  以上) で進めたときはニューロンの受容野の中心はある方向に規則的に移動していることがわかった (図51)。すなわち、ミクロ領域 ( $100\text{ }\mu\text{m}$  以下) での受容野の中心はランダムに配列されているが、マクロに見れば網膜情報連続的に投射 (continuous representation) されていることになる。電極の移動距離 ( $d\text{ mm cortex}$ ) とそのときの受容野中心の移動の平均値 ( $\mu\text{ degree of arc}$ ) と分散 ( $S\text{ degree}^2$ ) を種々の皮質領域で測定すると、皮質拡大因子  $M(\text{mm cortex / degree of arc})$  は、

$$M = \frac{d}{\mu} \quad (1)$$

により与えられる。この  $M$  の値は、網膜-皮質の投射規則を決定する。 $M$  の値は視野の位置の関数で偏心度とともに小さくなる。す



た  $1/M$  の偏心度とともに線形に増加する。(サル: Hubel と Wiesel, 1934, ネコ: Albus, 1935)。各偏心度  $e$  における平均の受容野の直径を  $D(e)$  (degree) とすると

$$\sqrt{(4S)^2 + D(e)^2} \times M \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

の網膜の一点を刺激したときに応答する皮質領域の直径を示すことがわかる。この領域を spatial subunit という。この値はネコでは Albus (1935) に、マカクでは決定され、網膜位置と無関係に  $2.6 \sim 2.8 \text{ mm}$  であることが明らかにされた。サルでも Hubel と Wiesel (1934) が比較的粗雑な方法ではあるが、 $2 \text{ mm}$  であることを見出している。Hubel ら (1934) によると、片眼優位性 (ocular dominance) に関する hypercolumn と方位 (orientation) に関する hypercolumn を合わせると約  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  となるので、spatial subunit にはこれらの hypercolumn が4個含まれることになる。しかし、皮質がこのような subunit に分けられているということの意味す

るのだから、むしろ皮質では受容野の中心のばらつき (random scatter) と受容野の重なりから連続的に投射されていると見るべきである。網膜の一点を刺激するとそれに対応する皮質部位を中心にこの subunit の範囲のニューロンが応答する。しかし、subunit の中心付近ではより多くのニューロンが強く応答するが、周辺に近くなるほど応答するニューロンの数も減る。すなわち、subunit の活動度の正規分布型になる、と考えると考えられるだろう。

こゝに Blackwell (1963) が心理物理学的立場から考えた element contribution function に対応するものと考えられる。さらに興味ある点は、各偏心度  $e$  における  $1/M(e)$  (deg/mm) と受容野の直径  $D(e)$  (deg) とは強い相関を持つという点である。Hubel と Wiesel (1974) の図から回帰直線の式を計算すると、ほぼ

$$D(e) = 0.78 \times \frac{1}{M(e)} + 0.15 \quad (3)$$

になる。この関係式の意味は重要である。な

せられ、もし拡大因子が測定できれば平均の受容野の直径が算出できるからである。なお平均の受容野の直径  $D(e)$  は再び Hubel と Wiesel (1974) の図から得る

$$D(e) = 0.058 e + 0.24 \quad (4)$$

を満たす。(3)式と(4)式から拡大因子の逆数  $1/M(e)$  は

$$\frac{1}{M(e)} = 0.074 e + 0.12 \quad (5)$$

である。ところが Hubel と Wiesel (1974) の図から  $1/M(e)$  を回帰すると

$$\frac{1}{M(e)} = 0.06 e + 0.13 \quad (6)$$

となり、Hubel と Wiesel (1974) のデータから皮質拡大因子の逆数  $1/M$  と受容野の直径  $D(e)$  はきわめて高い相互関係にあることがわかる。

### こゝの皮質拡大因子と視力

Brindley と Lewin (1968) は、盲人の後頭葉皮質を 80 個の植込み電極で電気刺激し、視

覚系の投射様式を調べた。盲人に眼閃(phosphene  
 ; 光刺激によらないで知覚される閃光)の位  
 置を球形の視野計で指示させる方法と、1対  
 の刺激によつて生じた眼閃 phosphene の位置  
 関係を答えさせる方法を用いている。刺激信  
 号は通常100パルス/秒で、個々のパルス幅  
 は200 $\mu$ sであつた。一つの電極に刺激を与  
 えると、「空の星のような非常に小さな白色  
 の光: phosphene」を感じる。注意を向けると  
 ところから10以内で起こる感覚はすべてこ  
 の種の眼閃 phosphene である。中心から離れ  
 たところでの眼閃 phosphene はときどき種々の  
 方向に長く見え、長さが幅の1.5~4倍であ  
 った。しかし最も周辺において眼閃 phosphene  
 は丸く、ほとんどの場合「雲」のようであ  
 るといわれる。ほとんどの場合刺激のあつた感  
 覚は持続し、刺激を止めるとすぐに感覚は消  
 失する。しかし強い刺激では残像が見られる  
 こともある。21. 80個の電極は2.4mmの間隔で  
 埋め込まれており、中央部の10対の電極のみ

2.4 mm の間隔であった。中央のどの10対の電極の刺激に対しても二つの眼閃 phosphene が見られた。Cowey と Rolls (1974) は、Brindley と Lewin (1968) のデータをもとにしてヒトの皮質拡大因子を計算した。サルでは17野と18野の投射は鏡像関係にあるので (Cowey, 1964; Cragg と Ainsworth, 1969; Zeki, 1969), ヒトにもこのような関係があるとするればこの境界を含む部位における拡大因子は除外しなければならない。この点を考慮して Cowey と Rolls (1974) は種々の偏心度  $e$  における拡大因子  $M(e)$  を算出した (表8)。

## 2. 皮質上での側方干渉

これまで文字の提示時間と同定率の関係から文字の符号化時間 (encoding time; Ganz, 1975) や特徴抽出速度 (Estes, 1978) が評価されてきた。このような実験的研究ならびに Rumelhart (1970) の多成分のモデルのような理論的研究から、文字の特徴が線検出器のような特徴

検出器によって抽出されていることが示唆された。さらに、同時提示された項目間の特徴の側方干渉 (lateral interference) も報告実験を通じて見つけられてきた (Wolford & Hollingsworth, 1974; Wolford, 1975)。これらの研究にもかかわらず特徴間の干渉のメカニズムもしくは法則が十分に吟味されていない。本節では、いくつかの研究で見い出された側方干渉の生ずる範囲を再検討し、線検出器等が存在するヒトの大腦視覚領域での干渉範囲が偏心度によらず一定であることを示す。

まず前節で述べた拡大因子  $M$  (表 8) を直線で近似してみよう。網膜偏心度が  $30^\circ$  以上を舍めると直線のあてはまりが悪くなるので偏心度  $30^\circ$  以下のデータに直線をあてはめた。このとき拡大因子の逆数  $1/M$  と偏心度との関係は

$$1/M = 0.056e + 0.0578 \quad (7)$$

であった。以下の議論は心理実験で得られた側方干渉の範囲をこの関係式を用いて皮質上

の距離に変換する。

Andriessen と Bouma (1976) は、テスト線分 (T.L.) の方向の丁度可知差異 (just noticeable difference;  $j, n, d.$ ) やコントラスト閾が周囲に提示される誘導線分 (I.L.) によってどのように影響を受けるかを検討した (図52)。その結果、これらの閾値は T.L. の位置 (網膜偏心度  $e$ ) および T.L. と I.L. の距離に依存して変化することが明らかにされた。  $j, n, d.$  から見た側方干渉が生ずる範囲 (半径)  $p_c$  を表9に示す。コントラスト閾に対する抑制も同様の傾向を示した。さらに、干渉は方向特異的であった。すなわち、T.L. と I.L. が同じ方向のときのみに干渉が生じた。

さてここで、上述の関係式を用いて実空間における側方干渉範囲  $p_c$  を皮質上での距離  $L_c$  に変換しよう。その結果を表9に示す。表9から皮質上の距離に変換された側方干渉の範囲 (半径)  $L_c$  は網膜偏心度によらずほぼ一定であることがわかった。

一方、文字を同定する実験において側方干渉が見られる。Bouma (1970) は、スッのノイズ文字がターゲット文字の両側に同時提示されたときのターゲット文字の同定率を測定した。その結果、ターゲット文字が提示される位置が周辺になればなる程ノイズ文字からの影響は大きいことが明らかにされた。そこで我々はノイズのないときの同定率(統制条件)より20%低下するノイズ文字とターゲット文字の距離を Bouma (1970) の図2から算出した。その結果を表10に示す。ここで再び  $p_c$  を皮質での距離  $L_c$  に変換するとやはり  $L_c$  は網膜偏心度によらず一定であることが明らかにされた。つぎに Banks ら (1977) のデータから、同様に側方干渉がかかり始める範囲を表10に示す。Banks ら (1977) のデータもターゲット文字が周辺になればなる程、広い範囲から側方干渉が生ずるが、皮質での距離  $L_c$  は網膜偏心度にかかわらず一定である。

これらの結果は皮質での側方干渉が生ずる



距離は網膜偏心度によらず一定であることを示している。しかし、 $LC$ の値が皮質にある検出器間の相互作用する正確な距離を示しているわけではない。それは、まず受容野の大きさとばらつきが必ず不明だからである。第2に刺激の大きさとコントラストによって変化するからである。

さらに別の実験結果について同様の検討を試みよう。Eriksen と Eriksen (1974) は、ターゲット文字の検出反応時間をしらべた。彼らの実験では、固視点の上の $5^\circ$ の位置にターゲット文字が提示されこれに対して応答しなければならない。このときターゲット文字の横にもう一つノイズ文字が提示されることがある。ノイズ文字は

- 1) ターゲット文字と同一文字
  - 2) ターゲット文字と異なる文字
  - 3) ターゲット文字と異なるが形の似た文字
- の3種類であった。いずれの場合もノイズ文字がターゲット文字と分離していれば検出反

応時間はノイズ文字がない場合と差がなかった。しかしノイズ文字が $0.5^\circ$ 以内に提示されたときには有意に反応時間が増加した。すなわちターゲット文字とノイズ文字の距離が $0.5^\circ$ 以下では、文字間干渉が生ずることを示している。一方 Bouma (1970) のデータから偏心度 $0.5^\circ$ での側方干渉範囲を求めると $0.42^\circ$ であり、Eriksen と Eriksen (1974) の結果に近い値を示した。

### § 3-3. 特徴抽出の確率的独立性<sup>1</sup>

従来、認知心理学の分野では、複数個の項目から構成される刺激パターンを瞬間提示し、さまざまな条件下で正答率や反応時間が調べられてきた。逆向マスティングを用いた場合、刺激パターンの提示時間の上昇とともに処理される項目数が増加していく事実から各項目の特徴は継続的に処理されると考えられた。たとえば、Sperling (1963) は、瞬間提示された文字列は、一文字 10ms の速さで直列的に処理されると報告している。しかしながら、全体報告課題の結果は、この結論と必ずしも一致しなかった。すなわち、種々の提示時間で得られた各項目の正答率から、一つの項目が完全に処理されるまで次の項目が処理されないという完全な直列処理ではないことが明らかにされた (Sperling, 1967)。このことから Sperling 自身直列処理から並列処理へとその結論を変更せねばならなかったのである。

(脚注1) 乾敏郎 (1984) 参照。

一方、文字列の短時間提示における検出課題から、特徴が並列に処理されていると報告されてきた。Shiffrin と Gardner (1972) は 4 項目から構成される刺激パターンを用いた検出実験を行った。その結果、4 項目が同時に 50ms 提示される条件と各項目が 100ms おきに 50ms 提示される条件では検出率に差が見られなかった。この結果から彼らは特徴が直列的に処理されるのではなく並列的に処理されると考えた。

本節では、複数の項目から構成される刺激パターンを短時間提示した場合に各項目の特徴が、確率的に独立だけでなく並列に処理されている事を示す。そして、並列的に特徴が処理されているにもかかわらず提示時間とともに正答率が、徐々に上昇する意味を明確にする。

## 1. 理論的背景

一般に逆向マスキングを用いると、特徴抽

出を停止することができると考えられている。それゆえ、逆向マスキングを用いて種々の提示時間で報告課題などを行なうと、提示時間（提示時間間隔  $ISI = 0$  のときは有効処理時間になる）と特徴抽出量の関係が明らかになる。ただし、特徴抽出の後、報告までの時間が長くなれば、抽出された特徴が忘却される可能性がある。必ずしも正確にこの関係は記述できない（この点については後に検討する）。いま刺激パターンに含まれる項目数を  $N$  とし、 $N$  項目すべてが処理されたときのみ正解となる課題を行なう。このとき各項目に対する特徴抽出が確率的に独立であるとすれば各刺激パターンに対して  $0.5$  の正答率を得るためには、

$N = 2$ のとき	$\sqrt{0.5}$	$= 0.71$
$N = 3$ のとき	$\sqrt[3]{0.5}$	$= 0.79$
$N = 4$ のとき	$\sqrt[4]{0.5}$	$= 0.84$
$N = 5$ のとき	$\sqrt[5]{0.5}$	$= 0.87$
$N = 6$ のとき	$\sqrt[6]{0.5}$	$= 0.89$

$$N = i \text{ のとき } \sqrt[i]{N_{0.5}}$$

の割合で刺激パターンを構成する各項目が処理されなければならない。そこでまず  $N = 1$  に対して、提示時間（マスキングとの ISI は  $0 \text{ ms}$ ）と正答率の関係を求める。この正答率曲線からこれらの正答率を得るために必要な提示時間を求め、それらを  $T_i$  とする（図 53）。つぎに各々の項目数に対して  $0.5$  の正答率を得るのに必要な提示時間  $E_i$  ( $i = 1 \sim 6$ ) を各々の正答率曲線から求める。もし、確率的に独立であれば

$$T_i = E_i$$

が成立するであろう。さらに、 $E_i$  が  $T_i$  に等しければ各項目の特徴は並列的に処理されると言える（図 54）。

## 2. 実験1（方法）

本実験では複数個の点を同時に提示し、何

個の点が提示されたかを問う。この場合各点が各項目に対応する。瞬間視で、50%正答が可能な点の数は注意の範囲 (span of attention) と呼ばれ、100ms の提示時間で7つないし8個であることが知られている (Averbach, 1963; Oyama et al, 1981)。そこでここでは8個以下の点を提示し、上記の理論に基づいて特徴抽出における確率的独立性の検討を行なう。

装置および刺激 視野タキストスコープを用いた。視野  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  の範囲内に、直径  $0.1^{\circ}$  の黒い点が複数個同時に提示された。点の個数 (以後NDと略す) は0から8個までの9種類であった。点の位置は  $0.6^{\circ}$  間隔の水平・垂直線の交点81個の中からランダムに選択された。また、マスクパターンとして LETRASET No. 16 Screen Tone を用いた。

手続き 予備実験において各々の点の数が認められ始める提示時間と、ほぼ100%正答が得られる提示時間を求め、これに基づい

で各刺激の提示時間が決められた。提示時間

は  $ND = 0$  のとき、 $30ms$ 、 $38ms$ 、

$ND = 1$  のとき、 $22ms$ 、 $30ms$ 、 $40ms$ 、 $46ms$

$ND = 2$  のとき、 $30ms$ 、 $38ms$ 、 $46ms$

$ND = 3, 4, 5$  および  $6$  のとき、 $30ms$ 、 $38ms$ 、

$46ms$ 、 $54ms$

$ND = 7$  のとき、 $46ms$ 、 $54ms$ 、 $62ms$ 、 $70ms$ 、

$78ms$ 、

$ND = 8$  のとき、 $94ms$ 、 $102ms$ 、 $110ms$ 、 $118ms$ 、

$124ms$ 、

であった。まず本実験に先立ち、練習試行を行なった。本実験では各々の提示時間に対して10試行ずつ、計350試行を行なった。スタート合図の後500msた、で、刺激パターンが提示された。刺激パターン提示後ただちに（提示時間間隔  $ISI = 0$  で）マスクパターンが提示された。このとき、被験者に知覚された点の数を報告させた。なお、提示時間、点の数ともにランダムな順序で提示された。

被験者 大学生5名。いずれも正常な視



力を持ち、左右とも矯正視力の8以上であった。

### 3. 実験1 (結果と考察)

NDが7の場合、提示時間を46msから78msに変化させても、5名の平均正答率は58%から67%までしか上昇しなかった。またNDが8の場合、提示時間を94msから126msまで変化させても、5名の平均正答率は54%から67%までしか上昇しなかった。このため、

正答率曲線が得られず、したがって以下の議論はNDが1から6に限って行なうことにする。まず、各NDに対して提示時間と正答率との関係を求めた。その一部を図55~57に示す。つぎに正答率曲線を折れ線近似し、50%の正答を得るために必要な提示時間を求めた。その結果を図58に黒丸で示す。次に、NDが1つの場合に対して回帰直線を求め正答率が $\sqrt[1]{0.5}$ ,  $\sqrt[2]{0.5}$ ,  $\sqrt[3]{0.5}$ ,  $\sqrt[4]{0.5}$ ,  $\sqrt[5]{0.5}$ となる提示時間を算出した。その結果を図58に白丸、

で示す。図から明らかのように、実験値と理論値がよく一致した。この結果から、各点の特徴が並列にしかも確率的に独立に抽出されることが明らかにされた。

#### 4. 実験2 (方法)

本実験では中心窩に複数個の図形を同時提示し、被験者に提示された図形がすべて同じ形であったかを判断させた。このときすべての同じ形の図形から構成される刺激パターンに対してのみ前記の理論に基づいて特徴抽出の確率的独立性を検討した。

装置      3視野タキストスコープを用いた。各視野の大きさは視野が  $12^\circ \times 12^\circ$  である。

#### 刺激おまび手続き

実験2-1 : 刺激図形として、白色ケント紙に黒インクで書かれた円おまび正方形を用いた。図形の大きさは、タキストスコープに提示された時の  $0.3^\circ$ 、線の太さは  $2'$  である。

また、マスクパターンとしては、LETRASET No. 16 Screen-Tone を使用した。被験者を、約5分間順応させる。用意の合図で、視野の中央に見える十印（視角 $0.5^\circ$ の大きさ）を凝視する。スタートの合図の後100ms経過後、視野の中心、また、中心から $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $2.5^\circ$ 離れた5種類の位置に、円または正方形が1個瞬間提示され、その後直ちにマスクパターンが提示される。被験者は、提示された図形が円か正方形かを答える。もしわからぬ時は、わからぬと答えてもよい。刺激図形の提示時間は、20ms、30ms、50ms、75msの4通りで、被験者は4通りの提示時間について、それぞれ図形および提示位置をランダムに変化させた20試行、合計80試行についてテストを受けた。

実験2-2：刺激パターンとして、円、正方形または三角形を構成図形とするパターンを使用した。パターンはすべて同じ構成図形から成るもの（SP）と一つだけ異なる図形を

含むもの (DP) に分けられる。構成図形の数は 2 個、4 個、8 個で、その配置は、2 個の場合は左右または上下、4 個、8 個の場合は円形に等間隔に並んでいる。図形の大きさは  $0.3^\circ$  で、中心からの距離は、構成数が 2 個、4 個の場合は、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $2.5^\circ$  の 5 通り、構成数が 8 個の場合は、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 、 $2^\circ$  の 3 通りである。マスクパターンは実験 I-1 と同じである。構成図形が 2 個の場合は水平、垂直は別々のシリーズに分けて行った。一つのセッションは、5 通りの偏心度の SP、DP を 2 枚ずつ用意し、それをランダムな順序で提示する計 20 回の試行から成る。各セッション内では、提示時間は一定である。この提示時間を、20 min、50 min、75 min、100 min の 4 通りに変えて 1 シリーズの実験を終える。構成図形が 4 個、8 個の場合は構成数、偏心度の異なる SP、DP を各 2 枚用意し、これをランダムな順序で提示する。各セッション内では、提示時間は一定である。提示時間

は、30ms、50ms、75ms、100ms、200ms の  
5通りである。1セッションは、64試行か  
ら構成されている。被験者は、提示されたパ  
ターンが SP か DP かを答える。もしわから  
なければ、わからないと答えてもよい。今回  
は、偏心度が  $15^\circ$  と  $2^\circ$  についてデータ整理  
を行った。

被験者 実験2-1では大学生10名、実  
験2-2では大学生6名が参加した。すべて  
左右とも裸眼で1.0以上であった。

## 5. 実験2（結果と考察）

被験者間に大きな差が見られなか、たの  
データをすべて平均した。まず、各々の構成  
数のおよび偏心度（ $15^\circ$  および  $2^\circ$ ）に対して  
、提示時間と正答率の関係を求めた。その一  
部を図59から64に示す。実験1と異なり、横  
軸を対数軸にすれば、直線に近い関係が得ら  
れた。各正答率曲線を折れ線近似し、50%の  
正答率が得られるのに必要な提示時間を求め

た（図65および66の黒丸）。つぎに、実験2-1で得られたデータから、正答率が $\sqrt{0.5}$ 、 $\sqrt{0.5}$ になる提示時間を求めた（図65および66の白丸）。図65、および66から明らかになるように実験値と理論値がよく一致した。この結果は実験1と同様、各項目（図形）の特徴が確率的に独立でしかも並列に処理されていることを意味している。

## 6. 一般論議

本節では、点の計数課題、つぎに図形の走査課題を通して各項目の特徴が確率的に独立にしかも並列に処理されることを明らかにした。しかし、被験者の最終的応答から特徴抽出過程の特性のみが明らかにされるためには、冒頭で述べたように以下の仮定が満足されていなければならない。すなわち、

- (1) 逆向マスキングにより、特徴抽出を停止させることが可能である。
- (2) 抽出された特徴が応答するまでに忘却され

ない。

ことが必要である。このうち、(1)の仮定は、多くの認知心理学的研究によって一応満足されているものと考えられる。一方、(2)については刺激の複雑さと課題に強く依存しているものと思われる。点の計数課題においては、

Oyama ら (1981) が詳しく検討しており、注意の範囲内であれば、この仮定は満足される。実験2についてもすべての条件について 200ms の提示時間が 90% 以上の正答率が得られた。

特徴抽出と忘却 さらに複雑な刺激パターンの場合には、瞬間視で完全正答は得られない。たとえば Glezer ら (1974) は複数個の絵を同時提示し、各々の絵の名前を答えさせた。提示される絵が1個の場合には、約190ms の提示で90% の正解が得られた。しかしながら、2個提示の場合には同じ提示時間でも75%、3個提示の場合には50% 以下であった。しかも

提示時間を170ms以上に増加させても正答率はほとんど上昇しなかった。このため、35%の正答率が得られるのに必要な提示時間を Glezer ら (1974) のグラフから求めると、1個の場合 90ms、2個の場合 125ms、3個の場合 140ms である。前述の方法で各項目の特徴が独立に抽出されるとして 35% の提示時間を求めると、2個の場合 122ms、3個の場合 152ms とほぼ実験値と一致した。しかし、より高い正答率では上記のような理由で理論値と実験値は一致しない。そこで Glezer ら (1974) のデータを説明する1つの理由として、一度抽出された特徴が報告するまでに視覚短期記憶から忘却されることが考えられる。

上記の議論では、特徴抽出過程には特に制限容量の存在しないと仮定し、得られたデータを短期記憶の容量（もしくは持続時間）によって説明しようとするものである。この考えは Gardner (1973) のモデルと一致している。



。しかし、特徴抽出過程に並列処理可能な容量を仮定することも可能である (Estes, 1972)。  
 。特徴抽出に制限容量が存在するのか、それとも短期記憶の容量だけが制限されているのかは今後の課題である。

側方干渉と特徴抽出 項目間の距離が小さいときは互いに干渉が生じ、項目の検出率が低下することが知られている (たとえば Wolford and Hollingworth, 1974a, 1974b; Inui, 1983)。  
 もし干渉が生じれば確率的独立性は満足されないが、特徴抽出が並列的になされることにはかわりが無いものと思われる。実際 Estes (1972) の相互作用するチャンネルモデル (interactive channel model) や Wolford (1975) の動揺モデル (perturbation model) においても特徴抽出の並列性が仮定されている。

一方、一項目を提示したときそれを構成する特徴の抽出様式もしらべられている。この場合は、上記の結果と異なり、一般に特徴は確率的に独立に抽出されるらしい (Ashby and

Townsend, 1982; Wandmacher, 1976)。本報告では項目のレベルにおける独立性を確めたのであり、一項目を構成する特徴間では促進や抑制効果が相互に作用しあっていると思われる。

反応時間と特徴抽出 並列処理によっても、上記の如き理由で項目数の増加に伴ない処理に必要な提示時間も増加した。しかもその増加率は、1項目の正答率曲線から予想された。一般には1項目当り100ms程度の提示時間の増加が見られる。一方、文字検出課題においては背景文字とターゲットが異なるカテゴリーの場合（たとえば、アルファベットの中から数字を検出する場合）、並列処理が行われることが知られている（たとえば Schneider and Shiffrin, 1977）。その場合でも検出反応時間は、同時提示される項目数の増加とともに延長される。Gleitman と Jonides (1976) によれば1項目当り 9.2ms、Jonides と Gleitman (1976) によれば 9.9ms の増加である。この

反応時間の増加は、特徴抽出に要する時間が直接反映されたものと思われる。ところで一般に反応時間には、特徴抽出のみならず、形の知覚や記憶との照合過程に要する時間も含まれている。記憶との照合などより高次の過程においていかなる処理様式が存在するのかは今後の課題である。なお、検出課題ではなく本実験のようにすべての項目を同程度に処理しなければならない課題においては高次の処理も並列処理であっても反応時間がさらに延長されることも示唆されている(乾、1982)。

### § 3-4. メンタルスキャンニングとそのモデル<sup>1</sup>

#### 1. メンタルスキャンニングと眼球運動走査

複雑な図形もしくは、いくつかの図形から構成されるパターンを認識するためには、パターン全体の中から適当な部分を選択し、それらを継時的に走査しなければならない。これは、パターン認識のプロセスに継時的処理が含まれる事を意味する。ここでの眼球運動による走査と区別し、内的走査をメンタルスキャンニングと呼びその神経回路モデルを提案する。

U. Neisser (1967) 以後、入力パターンのある限られた領域に知覚機能を割り当てる事を、集中的注意 (focal attention) と呼んでいる。この集中的注意を払う領域を移動させる事に、よって、パターン認識が可能となる。比較的大きなパターンで、しかも提示時間が長い場合は、眼球運動が重要な役割を果たす。しか

(脚注1) Inui, Kawato & Suzuki (1978) 参照。

しながら、比較的小さなパターンを短時間提示した時でも、各部分に注意を向ける事に可能なので、眼球運動とは異なる何らかの走査機構が働いているにちがいない。

このような走査機構の存在を示唆するよう  
の研究が、いくつか報告されている。その一  
つは、G. Sperling (1960) の全体報告実験と部  
分報告実験である。前者の場合たとえば、 $3 \times 3$  のマトリクス状に文字列を短時間提示し  
た後、被験者に、読み取る事のできた文字を  
できるだけ多く報告するよう求める。又、後  
者の場合は、文字列提示後に一つの行を指定  
する cue を出し、被験者にその指定された行  
の文字をできるだけ多く報告するよう求める  
。Sperling によれば、一行を指定する cue が与  
えられると、その行の報告率が上昇するとい  
う。これは、おそらく文字列提示後、集中的  
注意により、指定された行に情報処理が限  
定されたためと考えられる。もう一つの例は  
、Zinchenko と Vergiles (1972) による静止網膜

像を利用した研究がある。像の位置を網膜上に完全に固定すると、像が消失して見えなくなるのど、光源から出る光にカラーフィルターをかけ、色を変化させて形の知覚を持続させた。このような条件下（静止条件）で、視角にして $3^{\circ}$ ほどの漢字を覚えさせる。静止条件のど、眼球運動による走査は考えられない。しかし、このような条件下でも、被験者が自由に目を動かす事を許さしている時は、漢字の各部分に注意を払う事が可能となる。一方、同じ静止条件下でも、目を動かしてはいけなると言われると、各部に注意を向けられず、漢字が学習されなかつた。この場合でも、一見無意味とも思える眼球運動が必要であるらしい。おそらく静止条件下では、通常の中心窩とは異なる何か機能的中心窩(functional fovea)とよぶべきものが、視野の中を移動して各部分の継時的処理を可能にしたと考えられている。

静止条件下での眼球運動は、自由視の条件

下での眼球運動とまわめて類似していた。しかしその大きさは、指示された文字の大きさの  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$  であつた。Hall (1934)によれば、部分報告実験においても、同様の眼球運動 (posttachistoscopic eye-movement) が観察された。この場合も、瞬間提示での眼球運動による走査は有り得ない。

Inui ら (1938) はこのような中枢部における走査を眼球運動と区別して、メンタルスキミングと呼んだ。

## 2. 神経方程式の基礎

神経方程式は、本質をそこなわない限りにおいて、簡単でなければならぬ。抑制性の結合がランダムであるようなニューロンの小集団の活動度を記述する微分方程式の導出方法について述べてみよう。ニューロン集団の活動度を記述する微分方程式は、いくつか考えられているが、ここでは、Wilson & Cowan (1972) のものを簡単に説明しておく。まず

、 $E(t)$ を、時刻 $t$ で単位時間に発火している興奮性ニューロン (E-cell) の割合と定義する。絶対不応期を $\tau$  (msec) とすれば、時刻 $t$ で不応期にある E-cell の割合は

$$\int_{t-\tau}^t E(t') dt' \quad (8)$$

(時刻 $t'$ で興奮したものは $t+\tau$ まで絶対不応期にあるということを表している。)

したがって、時刻 $t$ で sensitive な E-cell の割合は、

$$1 - \int_{t-\tau}^t E(t') dt' \quad (9)$$

(絶対不応期にないもの)

$S(x)$ を今、ニューロン集団での平均の入力 $x$ の関数として、単位時間に興奮するニューロンの割合の期待値とする。この時、各ニューロンの関分布が正規分布 $D(\theta)$ である事を仮定すると、 $S(x)$ はシグモイド関数になる事がわかる。なんとすれば、平均の入力 $x = x_0$ の時 $\theta \leq x_0$ なる閾値をもつニューロンはすべて



を興奮させているはずだから、

$$S(x) = \int_0^x D(\theta) d\theta \quad (10)$$

となるからである。時刻  $t+r$  で発火している興奮性ニューロンの割合は、時刻  $t$  で sensitive かつ、 $t$  で興奮するであろうニューロンの割合であるから、

$$E(t+\tau) = \left[ 1 - \int_{t-r}^t E(t') dt' \right] \cdot S(x(t)) \quad (11)$$

これを Taylor 展開すると、

$$\tau \frac{dE}{dt} = -E + \left[ 1 - \int_{t-r}^t E(t') dt' \right] \cdot S(x(t)) \quad (12)$$

後述の微分方程式 (13) では、絶対応期  $r$  を無視し、そのかわりに相対応期が考慮されている。

### 3. メンタルスキニングの実験結果

§ 3-3. 実験2では、いくつかの図形から構成されたパターンを短時間提示し、特徴抽出の確率的独立性をしらべた。被験者には、提示刺激が、すべて同じ図形から構成されたパターン (SP) か、それとも1つだけ異なる図形が混入していたパターン (DP) かを判断させた。刺激パターンは円、または正方形、または三角形 (視角  $0.3^\circ$ ) が円形に等間隔で配列されている。したがって各要素図形は注視点から等距離に位置していた。その距離 (中心からのずれ) は、構成数が2個、4個の場合は、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $2.5^\circ$  の5種類、8個の場合は  $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 、 $2^\circ$  の3種類であった。また、50%の正答率を得るために必要なパターンの提示時間を50%関として、関とパターンの種類との関係がしらべられた。§ 3-3 実験2では、SP に対する結果の一部のみを記した。本節ではその他の結果について述べる。

まず、1個の図形を提示したときの50%閾（50%の正答率を得るのに必要の提示時間）は図67のようになつた。すなわち偏心度が $15^\circ$ 以内ではほとんど50%閾に変化は認められなかったが、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ では高い値を示した。

また、偏心度が $25^\circ$ の場合、構成数4や8のSPに対する正答率は提示時間が200msでも100%に達しないことが予備実験で確かめられた。また構成数8のSPに対する50%閾を水平に提示した場合と垂直に提示した場合に分けて算出した（表11）。その結果、水平に提示した場合の方が垂直に提示した場合より50%閾は低く、したがって内的走査の場合の形（一定の提示時間で等しい正答率が得られる位置を結んだ曲線の形）は円形ではなく楕円形であることが推測される。これはちょうど網膜の等感度曲線が楕円形であることと密接に関連しているものと思われる（図68）。

次にDPに対する50%閾を図69に示す。SPの場合の3-3で述べたように50%閾は構

成数の増加関数になつてゐたが、DP の場合の構成数2以上で50%閾はほぼ一定になつた。また SP の正答率の提示時間とともに比較的緩徐に上昇傾向を示したが、DP の正答率の提示時間とともに急激に上昇した。

Treisman と Gelade (1980) は、形と色など異なる次元を組み合せて複合図形を用いて上述のごとき視覚走査実験を開展させた。Treisman らは、被験者が提示された刺激にターゲット図形が含まれているか否かを判断するのに要する時間から次の結果を得た。すなわち、(1) ターゲットが色または形のみで規定される場合 (feature 条件)、DP に対する反応時間は刺激に含まれる図形の数に関係なく一定であるが、SP に対する反応時間は図形の個数に比例して上昇した。(2) ターゲットが色と形の組み合わせで規定される場合 (conjunction 条件)、SP、あるいは DP に関係なく、反応時間は図形の個数に比例して上昇した。

#### 4. メンタルスキミングのモデル

視覚神経系は、網膜、外側膝状体および視覚野において、X形とY形の経路に分類される。X形ニューロンは、持続形の放電を示し、受容野は比較的小さく解像力の高いが情報伝送速度は遅い。一方、Y形ニューロンは、一過性の放電を示し、受容野は比較的大きく解像力は低い、情報伝送速度は速いことが分かっている。Xチャンネルでは詳細な形の情報が比較的ゆっくりと処理され、一方Yチャンネルでは位置や変化の情報が速やかに処理されると考えられる。人間の視覚系にも、この二つの経路が存在することが示唆されており、このような考えを間接的に支持する現象が幾つか見出されている。

我々は、これらの事実をふまえて、ここでもメンタルスキミングについての次の特徴を実現する神経回路網を考える。

- a). 入力を同時に処理する前注意過程により、異質の領域を検出する。

- b). 異質な領域が検出されると、メンタルスキャンニングは、その領域から始まる。
- c). もし、異質な領域が検出されず、又、構成図形が機能的に等価の eccentricity を持っているとき、メンタルスキャンニングは偶然決まる位置から始まる。
- d). メンタルスキャンニングは、集中的注意の過程で、各図形に注意を集中させ逐次処理を実行する。

#### 4. 1 2層神経回路網

我々は、前述の2つの処理モードが以下に述べるようなX形ニューロンとY形ニューロンからなる神経回路によって生ずると考える。図70に、2層神経回路網を示す。

- i). 網膜上の情報は、Y形経路を経てY形ニューロン層（Y層）に過渡的な刺激として入力する。一方X形ニューロン層（X層）には、X形経路を経て、遅れで持続的な刺激が入ってくる。

- ii). X層、Y層のニューロンは上述のX形、Y形ニューロンの性質をすべて持つ。
- iii). Y層の異なる方向特性を持つニューロン間には側抑制が存在する。
- iv). X層のニューロン間の結合は、自己に興奮性に回帰し、周囲に抑制性の結合をしている。
- v). Y層のニューロンは、ほぼ同じ受容野を持つX層のニューロン以外のニューロンに抑制性の結合をする。

iii) iv) に関しては、視覚系の種々の位置で抑制結合が見出されており、不自然な仮定ではない。又 v) に関しては、外側膝状体及び、視覚領において類似の結合が見出されている (Singer and Bedworth, 1973; Stone and Dreher, 1973)。Blakemoreら (1970, 71) と、Carpenter と Blakemore (1973) は、いわゆる Gibson-Blakemore の錯視の研究から、視覚領の orientation column の間には側抑制が働いていると考えた。

Blakemore と Tobin (1972) は、事実、複雑型細胞レベルにおいて側抑制を見出している。又、Beneventoら(1972) や Creutzfeldt ら (1974 a, b) はネコ視野を詳細に調べた結果、orientation column 間に側抑制が働いていると考えた。事実、Rose と Blakemore (1974) や Sillito (1975) にすると、抑制性シナプスの伝達物質を抑えるアルカロイドの一種 bicuculline にすると、単純型、複雑型及び超複雑型細胞の方向特異性がよくなる。

SP が提示されると、Y 層では刺激を受けた細胞は等しく興奮して、X 層の細胞に一樣な抑制性の刺激を出す。一方、DP が提示されると Y 層の相互抑制の結果、X 層への抑制性の出力は、唯一異なる図形に対応する Y 細胞ではほかの Y 細胞のそれより小さくなる。このような SP と DP での Y 層から X 層への出力の相違が X 層でのメンタルスキミングにどのような影響を与えるであらうか。



## 4. 2. 状態方程式

$X$ 層ニューロンの小集団の活動度は相対応期を考慮すれば次のような微分方程式系で近似的に記述できる。

$$\tau \frac{dX_i(t)}{dt} = -X_i(t) + S \left[ b_i X_i(t) - \sum_{j \neq i} c_{ij} X_j(t) - \int_{-\infty}^t R_i(t-t', X(t')) dt' + P_i(t) + Q_i(t) - \theta_i \right]$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

但し、 $X_i(t)$  は時刻  $t$  での  $i$  番目のニューロンの小集団の平均活動度（小集団のどれくらいのニューロンが発火しているか）を示し、 $0 \leq X_i(t) \leq 1$  を表す。 $S(u)$  はシグモイド関数であり、 $S(0) = 1/2$ 、 $S(\infty) = 1$ 、 $S(-\infty) = 0$  である。更に変曲点は  $u = 0$  にあり、その点での傾きは  $a$  とする。 $b_i$  は  $i$  番目のニューロン集団の自己興奮性の結合の平均化した結合荷重である。 $c_{ij}$  は  $j$  番目のニューロン集団から、 $i$  番目のニューロン集団への側抑制の平

均結合荷重である。  $R_i(t-t', X_i(t'))$  は、時刻  $t'$  のニューロン集団の活動度  $X_i(t')$  が現存の活動度に及ぼす相対不応性の影響を示す量である。  $R$  は非負の関数であり、  $(t-t')$  の減少関数で  $X_i(t')$  の増加関数である。

$P_i(t)$  は  $i$  番目のニューロン集団への  $X$  形経路からの入力刺激であり、興奮性に作用する。 $Q_i(t)$  は  $Y$  層からの入力刺激であり、抑制性に作用する。 $P_i(t)$ 、 $Q_i(t)$  は共に非負である。 $\theta_i$  は  $i$  番目のニューロン集団の全体の閾値に相当するもの、シグモイド関数の変曲点の位置を示す。

系(13)のような微分方程式系がニューロン集団の活動度が記述できることは、川人と塚原、Cowan や Wilson、Cowan による。但し、相対不応性の項は、Griffith の単一ニューロンに対する考察を、近似的にニューロン集団に適用したものである。

さて、このような系は、ある条件下で一種の振動現象(順次的発火)を示す(例えば、

Suzuki ら, 1971)。

$n = \infty$  の場合には、この現象は図式的に説明される。次のような系を考えよう。

$$\tau \frac{dX(t)}{dt} = -X(t) + S \left[ bX(t) - cY(t) - \int_{-\infty}^t R(t-t', X(t')) dt' \right. \\ \left. + P_X(t) - Q_X(t) - \theta \right]$$

$$\tau \frac{dY(t)}{dt} = -Y(t) + S \left[ bY(t) - cX(t) - \int_{-\infty}^t R(t-t', X(t')) dt' \right. \\ \left. + P_Y(t) - Q_Y(t) - \theta \right]$$

(14)

はじめに、外部入力刺激  $P(t)$ 、 $Q(t)$  と不応性の項  $R(t)$  を無視して考える。更に次のように変数変換する。

$$Z(t) = 2(X(t) - \frac{1}{2}) \quad W(t) = 2(Y(t) - \frac{1}{2})$$

$$S^*(u) = 2S(\frac{u}{2}) - 1 \quad (15)$$

すると  $-1 \leq Z(t) \leq 1$ 、 $-1 \leq W(t) \leq 1$  となり  $S^*(u)$  も又シグモイド関数となる。但し、 $S^*(0) = 0$ 、

$S^*(\infty) = 1$ ,  $S^*(-\infty) = -1$  となる。ここに特に  $\theta = (b-c)/2$  とする。すると系 (14) は次のように変換される。

$$\tau \frac{dZ(t)}{dt} = -Z(t) + S^*[bZ(t) - cW(t)] \quad (16)$$

$$\tau \frac{dW(t)}{dt} = -W(t) + S^*[bW(t) - cZ(t)]$$

系 (16) の isocline から、平衡点の種類と個数が表 12 のように決まる。但し定数  $K$  のパラメータ  $a$ ,  $b$ ,  $c$  やシグモイド関数の更に詳細な形によっても決まる定数である。

スッの集団のうち、どちらか一方だけが興奮し、他方は抑制されている状態だけが安定平衡点になり、というのは (ロ)、(ハ)、(=)、つまり  $K > b-1$  /  $a > -c$  の場合で、これらの場合には、不応性の項が十分に大きければ、次のように振動現象が生ずる。特にパラメータが (ハ) の場合に、不応性の項を考慮して振動現象を図式的に示そう。簡単のために変数変換後の  $Z-W$  平面で説明する (図 71)。

今、系(14)の(変数変換した)解が安定平衡点  $P$  にとらえられたとする。すると  $Z$  が大きくなるために系(14)の第1式のシグモイド関数の中の不応性の項が増大する。不応性の変化の時定数が活動度の時定数で比較して十分大きいとする。すると、不応性の項を短時間内では一定と考え、短時間内の isocline  $dZ/dt = 0$  が考えられる。これは、図71に示すように不応性の項が増大するに伴って  $W$  軸の負の方向へ移動する。それに伴い、短時間内での意味の安定平衡点は  $P \rightarrow P'$ 、 $Q \rightarrow Q'$ 、不安定平衡点は  $R \rightarrow R'$  と移動する。やがて平衡点  $R'$  と  $P'$  とが融合して不安定となる。そのため解は  $P'$  を離れ、 $Q'$  に落ち込む。今度は系(14)の第2式の不応性の項が増大し、第1式の不応性の項は減少していき、やがて、今度は  $Q'$  が不安定になる。このようにして振動現象が説明される。

一般に  $n$  個のニューロンの集団が相互作用する場合にも同様の振動現象が見出せる。

#### 4. 3. シミュレーションとその解釈

特に  $n = 3$  の場合に実験と対応させて、シミュレーションの結果を示して、回路網の振舞を説明する。

今、3個の図形を含む SP あるいは DP が提示されたとする。そのそれぞれ図形の網膜上の位置に対応する X 層のニューロン集団に 1、2、3 と番号を付けよう。但し DP の場合にはただ一つ異なる図形に対応する集団に 1 と番号を付ける。更に 3つの集団の性質は等しいとする。つまり  $C_{ij} = C$ 、 $\theta_i = \theta$ 、 $R_i(t-t', X_i(t')) = R(t-t', X_i(t'))$  とする。

さて外部入力刺激  $P_i(t)$ 、 $Q_i(t)$  の時間的变化を考えよう。パターンの提示後まず Y 細胞経路から信号が到着し、 $Q_i(t)$  が増加する。その後 X 細胞経路から、X 細胞層に信号が到着し  $P_i(t)$  が増大する。 $Q_i(t)$  は相動性であり、 $P_i(t)$  は持続的である。 $P_i(t) - Q_i(t)$

の持続時間はマスクパターンの提示のために、パターンの提示時間に大体比例していきと考えられる。SPが提示された場合の $P_i(t)$ 、 $Q_i(t)$ の時間的变化は図72のSPのようである。但し、この場合は、外部入力刺激は*i*によらず同一である。

一方DPが提示された場合には、Y細胞層の異なる方向特性を持つニューロン間には抑制が働くために、DPのただ一つ異なる図形に対応するY細胞層のニューロンの出力は他の多数の細胞の出力より小さくなる。つまりただ一つ異なる図形に対応するX細胞層の集団への抑制性の入力刺激が大きくなる。この場合の外部入力刺激の変化は図72のDPのようである。

さてこの外部入力刺激を方形波で近似し、それが与えられたときの系の振舞いを数値計算で解いた。数値計算に当り、特に $R(t-t', X(t')) = e^{-\alpha(t-t')} \times X(t')$ と仮定した。この場合 $R(t) = \int_{-\infty}^t R(t-t', X(t')) dt'$ は

次の微分方程式を満す。

$$\frac{d}{dt} R(t) = -dR(t) + eX(t) \quad (17)$$

数値計算の結果を図73に示す。SPの場合には各集団の性質が全く等しいため、 $R_i(t)$ の初期値が等しい場合には、 $R_i(t)$ と $X_i(t)$ が発火の順序に及ぼす影響のかねあひから、 $X_i(t)$ の初期条件が最小の集団から発火が生ずる。実際の発火順序は集団の性質の違い、外部入力刺激の違い、あるいはニューロンの雑音などによって決定されるのであろう。但し、順次的発火の順序は相対不応性によって規制されていて、ある集団がまだ興奮していないのに同じニューロン集団が2度興奮することはない。例えば、図73-aのSPの場合には  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$  と発火が繰返される。こうしてSPのすべての図形に対応するニューロン集団が1度興奮し、あるいは最初に興奮したニューロン集団が再び興奮したとき



、被験者に与えられたパターンが SP であることを認識する。そのため、SP に含まれる図形の数が増加するにつれて、認識に要する時間は増えるし、正答率は提示時間と共にゆっくり増加する。ところが、DP が提示されたときには、集団の性質や、初期条件があまり大きく異ならぬ限り、発火前の期間に I のニューロン集団が大きな抑制性入力を受け、不応性の項が小さくなるため、順序的発火に必ず I のニューロン集団から始まり次にほかの図形に対応するニューロン集団のいずれかが興奮する。このとき、被験者は DP であることを認識する。DP の中に含まれる図形の数が増加しても、認識に要する時間は変化しないし、正答率は提示時間と共に急激に増加する。以上が実験事実 (a)、( )、( )、( ) が説明された。

## 5. グローバルモデル

現実にX層、Y層がどの部位に相当するかは、次のように想像される。高等動物の視覚系には、外側膝状体-有線核系 (geniculo-striate system) と上丘-視床枕系 (colliculus - pulvinar system) の二つのサブシステムが存在する。前者では、周波数と方向の検出ニューロンによる受動的な処理がなされ、後者は視覚的注意に関与していると言われている。既に外側膝状体-有線核系については本章第1節で、また下部視覚野については第1章第1節で述べた。ここでは上丘と視床枕について簡単に述べておく。

上丘は、古くから感覚と運動の情報を統合する部位であると考えられていた。上丘表層部のニューロンは、視覚野のニューロンと同様受容野 (RF) を持っている。各ニューロンは、RF内に光が提示されると応答し、さらに、その方向に眼球運動 (saccade) を起こす時、より大きな放電が見られる (Goldberg & Wurtz,

1972)。しかし表層部の  $\frac{1}{4}mm$  にあるニューロンでは、眼球運動による増強は起こらない (Wurtz & Mohler, 1976)。中間部にあるニューロンは、ある特定の方向に特定の距離だけ saccade する時、眼球運動に先立って放電する。このように saccade の行き先の位置が各ニューロンでそれぞれ決まっておき、移動野 (movement field, MF) と呼ばれる。各ニューロンを電気刺激すると、決まった saccade が生ずる。又、多くのニューロンは RF ももっており、光が RF 内に入ると応答する (Wurtz & Goldberg, 1972)。このように中間部のニューロンは眼球運動ニューロンと呼ばれ、表層部の視覚ニューロンと機能的に区別された。表層部と中間部の間にはターゲットに向けられた眼球運動に先立って応答するが、自発的な (spontaneous) 眼球運動の前には応答しないニューロンがある (Mohler & Wurtz, 1976)。深層部のニューロンは、MF のみをもっており眼球運動に先立って放電が見られる。これらのニューロン

は、自発的<sup>spontaneous</sup>の眼球運動の前に応答する (Wurtz & Goldberg, 1972)。各層のニューロンの潜時から、表層からの光情報と、深層からの運動情報が表層と中間層の間にあるニューロンに収束していると考えられている (Mohler & Wurtz, 1976)。ここにおいて、感覚と運動が統合される。

さらに、これらのニューロンの活動は予期 (anticipation) とも関係する (Mohler & Wurtz, 1976)。視床枕の、その下部、中部、側部において、視覚ニューロンが存在するが、特に下部視床枕 (IP) に多く存在する (Mathers & Rapisardi, 1973)。そして、これらのニューロンは、retinotopicに並んでいる (Allmanら、1972)。サルの弁別学習の研究によれば、IPは、特に注意を必要とするような瞬間提示弁別に重要な役割を果たしていると言われる (Chalupaら、1976)。そして、彼らによ、注意の機構が重要なような視覚情報の統合に下部視床枕が関係しているらしいと考えられている。

上丘への、網膜から直接に来るY経路と、  
 17野、18野、19野を経て来るY経路とがある  
 (Hoffman, 1973; Macilwain, 1977)。IPの頭部  
 は上丘から入力を受けており (Benevento and  
 Fallon, 1975)、又その尾部から17、21野へ出  
 力を送っている (Rezac and Benevento, 1975)。  
 21野は、視覚領とIPからの投射を受けてい  
 る (Rocha-Miranda, Bender, Gross and Mishkin,  
 1975)。サブシステム間の相互連絡のダイヤ  
 グラムを図74に示す。Rocha-Mirandaら (1975)  
 はIP尾部切除により、21野のニューロンの  
 受容野が大きくなると報告しており、これは  
 この経路が21野に対して抑制性に働いている  
 事を示唆している。すなわち、視覚領を通し  
 て21野に送られてきた情報はこの経路を通る  
 信号によって選択されると考えられる。この  
 ような事実と前述のモデルを考えあわせると  
 、視床枕尾部がY層に、21野がX層に対応し  
 よう。視覚情報は、視覚領から並列に一定時  
 間21野に送られているが、上丘-視床枕系に

よって、注意を向けるべき部分が選択される

上丘は眼球運動を引き起こす部位であると考えられていたが、上丘を破壊しても断続性運動 (saccade) は正しく引き起こされ、ただその潜時が大きくなるだけであつた (Wurtz and Goldberg, 1972 (b))。従つて、上丘は行動上重要であると認知した刺激に対して注意を向ける事を促進する機能をもっているらしい。前述の如く、mental scanning をしている時も一見無意味と思われる眼球運動が生ずるのは scanning を制御している眼球運動ニューロンが刺激されて、動眼神経系に信号を送るためであると考えられる。

### § 3-5. 第3章の要約

一度 Iconic Memory に貯蔵された情報から、見たい部分を選択的に特徴抽出して、形が知覚され、視覚短期記憶に貯えられる。

第3章では、特徴検出器が存在する大脳皮質において、網膜位置によらず一定の範囲内で互いに抑制をかけ合っていることを示した。また、中心視でしかもある程度微細な処理を必要とする場合、項目の特徴が確率的に独立に処理されていることを明らかにした。さらに確率的に独立に処理されているにもかかわらず、処理すべき項目数を増加させたとき同じ正答率を得るために必要の提示時間が上昇することを示した。また、選択的処理、2段階処理（すなわち Neisser (1967) の言葉で言えば、前注意過程と集中的注意過程）を実現する神経回路網モデルを提案した。このモデルでは、X-チャネルとY-チャネルという時空間特性の異なるチャネル間の相互

作用と各チャネルを構成するニューロン間の相互作用によってこれらの処理機能を実現している。



### §3-6. 引用文献

- 1) Albus, K.(1975) A quantitative study of the projection area of the central and paracentral visual field in area 17 of the cat. I. The precision of the topography. Experimental Brain Research, 24, 159-179.
- 2) Alpern, M.(1953) Metaconstrast. Journal of the Optical Society of America, 43, 648-657.
- 3) Andriessen, J.J. and Bourma, H.(1976) Eccentric vision: Adverse interactions between line segments. Vision Research, 16, 71-78.
- 4) Averbach, E.(1963) The span of apprehension as a function of exposure duration. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 2, 60-64.
- 5) Banks, W.P., Bachrach, K.M. and Larson, D.W. (1977) The asymmetry of lateral interference in visual letter identification. Perception and Psychophysics, 22, 232-240.
- 6) Benevento, L.A., Creutzfeldt, O.D. and Kuhnt, U.(1972) Significance of intracortical inhibition. Nature, 238, 124-126.
- 7) Bisti, S., and Maffei, L(1974) Behavioral contrast sensitivity of the cat in various meridians. Journal of Physiology, 241, 201-210.
- 8) Blackwell, H.R.(1963) Neural theories of simple visual discrimination. J. Opt. Soc. Amer., 53, 129-160.
- 9) Blakemore, C., and Campbell, F.W.(1969) On the existence of neurons in the human visual system: Selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. Journal of Physiology, 203, 237-260.

- 10) Blakemore, C., Carpenter, R.H.S., and Georgeson, M.A.(1970) Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system. *Nature*, 228, 37-39.
- 11) Bouma, H.(1970) Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*, 226, 177-178.
- 12) Bouma, H.(1973) Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13, 767-782.
- 13) Breitmeyer, B.(1975) Simple reaction time as a measure of the temporal response properties of transient and sustained channels. *Vision Research*, 15, 1141-1142.
- 14) Breitmeyer, B.G., and Ganz, L(1976) Implications of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing. *Psychological Review*, 83, 1-36.
- 15) Bridgeman, B. (1975) Correlates of metacontrast in single cells of the cat visual system. *Vision Research*, 15, 91-99.
- 16) Brindley, G.S. and Lewin, W.S.(1968) The sensations produced by electrical stimulation of the visual cortex. *J. Physiol.*, 196, 479-493.
- 17) Campbell, F.W., Cooper, G.F., and Enroth-Cugell, C.(1969) The spatial selectivity of the visual cells of the cat. *Journal of Physiology*, 203, 223-235.
- 18) Campbell, F.W., and Maffei, L(1970) Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system. *Journal of Physiology*, 207, 635-652.

- 19) Campbell, F.W., Maffei, L., and Piccolino, M.(1973) The contrast sensitivity of the cat. *Journal of Physiology*, 229, 719-731.
- 20) Carpenter, R.H.S., and Blakemore, C.(1973) Interactions between orientations in human vision. *Vision Research*, 18, 287-303.
- 21) Chalupa, L.M., Coyle, R.S., Lindsley, D.B.(1976) Effect of pulvinar lesions on visual pattern discrimination in monkeys. *J. Neurophysiol.* 39, 354-369.
- 22) Cleland, B.G., Dubin, M.W., and Levick, W.R.(1971) Sustained and transient neurones in the cat's retina and lateral geniculate nucleus. *Journal of Physiology*, 217, 473-496.
- 23) Collins, J.F. and Eriksen, C.W.(1967) The perception of multiple simultaneously presented forms as a function of foveal spacing. *Perception and Psychophysics*, 2, 369-373.
- 24) Coltheart, M.(1980) Iconic memory and visible persistence. *Perception and Psychophysics*, 27, 183-228.
- 25) Cowey, A. and Rolls, E.T.(1974) Human cortical magnification factor and its relation to visual acuity. *Experimental Brain Research*, 21, 447-454.
- 26) Cragg, B.G. and Ainsworth, A.(1969) The topography of the afferent projections in circumstriate visual cortex of the monkey studied by the Nauta method. *Vision Res.*, 9, 733-747.
- 27) Creutzfeldt, O.D. Kuhnt, U. and Benevento, L.A.(1974) An intracellular analysis of visual cortical neurones to moving stimuli: responses in a co-operative neuronal network. *Experimental Brain Research*, 21, 251-274.

- 28) Creutzfeldt, O.D., Innocenti, G.M., and Brooks, D. (1974)  
Vertical organization in the visual cortex (Area 17) in  
the cat. *Experimental Brain Research* 21, 315-336.
- 29) Dick, A.O. (1969) Relations between the sensory register and  
short-term storage in tachistoscopic recognition. *Journal  
of Experimental Psychology*, 82, 279-284.
- 30) Di Lollo, V. (1978) On the spatio-temporal interactions  
of brief visual displays.
- 31) Dobelle, W.H., Mladejovsky, M.G. and Evans, J.R. (1976)  
'Braille' reading by a blind volunteer by visual cortex  
stimulation. *Nature*, 259, 111-112.
- 32) Dow, B.M. (1974) Functional classes of cells and their  
laminar distribution in monkey visual cortex. *Journal of  
Neurophysiology*, 37, 927-946.
- 33) Eriksen, B.A. and Eriksen, C.W. (1974) Effects of noise  
letters upon the identification of a target letter in a  
nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- 34) Estes, W.K. (1972) Interactions of signal and background  
variables in visual processing. *Perception and Psychophysics*,  
12, 278-286.
- 35) Estes, W.K. (1978) Perceptual processing in letter recognition  
and reading. In: E.C. Carterette and M.P. Friedman (Eds.)  
*Handbook of Perception Vol. IX* Academic Press.
- 36)

- 37) Ganz, L.(1975) Temporal factors in visual perception.  
In: E.C. Carterette and M.P. Friedman (Eds.) Handbook of  
Perception Vol. V Academic Press.
- 38) Gardner, G.T.(1973) Evidence for independent parallel  
channels in tachistoscopic perception. Cognitive Psychology,  
4, 130-155.
- 39) Gleitman, H., and Jonides, J.(1976) The cost of categorization  
in visual search: Incomplete processing of targets and field  
items. Perception and Psychophysics, 20, 281-288.
- 40) Glezer, V.D., Leushina, L.I., Nevskaya, A.A., and Prazdnikova,  
N.V.(1974) Studies on visual pattern recognition in man and  
animals. Vision Research, 14, 555-583.
- 41) Griffith, J.S.(1971) Mathematical neurobiology. New York:  
Academic Press.
- 42) Gouras, P.(1974) Opponent-colour cells in different layers  
of foveal striate cortex. Journal of Physiology, 238, 583-602.
- 43) Green, D.M., and Luce, R.D.(1975) Parallel psychometric  
functions from a set of independent detectors. Psychological  
Review, 82, 483-486.
- 44) Hall, D.C.(1974) Eye movements in scanning iconic imagery.  
Journal of Experimental Psychology, 103, 825-830.
- 45) Harris, J.R., Shaw, M.L., and Bates, M.(1979) Visual search  
in multicharacter arrays with and without gaps. Perception  
and Psychophysics, 26, 69-84.
- 46) Harwerth, R.S., Boltz, R.L., and Smith III, E.L.(1980)  
Psychophysical evidence for sustained and transient channels  
in the monkey visual system. Vision Research, 20, 15-22.

- 47) Hoffmann, K.P., and Stone, J.(1971) Conduction velocity of afferents to cat visual cortex: A correlation with cortical receptive field properties. Brain Research, 32, 460-466.
- 48) Hoffmann, K.P., Stone, J., and Sherman, S.M.(1972) Relay of receptive field properties in dorsal lateral geniculate nucleus of the cat. Journal of Neurophysiology, 35, 518-530.
- 49) Hoffman, K.P.(1973) Conduction velocity in pathways from retina to superior colliculus in the cat. J. Neurophysiol. 36, 409-424.
- 50) Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.(1959) Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. Journal of Physiology, 148, 574-591.
- 51) Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.(1962) Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of Physiology, 160, 106-154.
- 52) Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.(1965) Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. Journal of Neurophysiology, 28, 229-289.
- 53) Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.(1968) Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. Journal of Physiology, 195, 215-243.
- 54) Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.(1974) Uniformity of monkey striate cortex: A parallel relationship between field size, scatter, and magnification factor. Journal of Comparative Neurology, 158, 295-306.

- 55) Ikeda, H., and Wright, H.J.(1974) Evidencer for 'sustained' and 'transient' neurons in the cat's visual cortex. Vision Research, 14, 133-136.
- 56) Ikeda, H., and Wright, H.J.(1975a) Spatial and temporal properties of 'sustained' and 'transient' neurons in area 17 of the cat's visual cortex. Experimental Brain Research, 22, 363-383.
- 57) Ikeda, H., and Wright, M.J.(1975b) Retinotopic distribution, visual latency and orientation tuning of 'sustained' and 'transient' cortical neurons in area 17 of the cat. Experimental Brain Research, 22, 385-398.
- 58) 乾 敏郎. 宮本 健作(1979) 視覚系における時空間特性  
心理学評論 21, 340-360.
- 59) 乾 敏郎. 三村 治. 宮本 健作(1981) 視力を決定する神経機構について  
神経研究の進歩 25, 194-213.
- 60) Inui, T., Kawato, M., and Suzuki, R.(1978) Mechanism of mental scanning in foveal vision. Biological Gybernetics, 30, 147-155.
- 61) Inui, T., Mimura, O., & Kani, K. (1981) Retinal sensitivity and spatial summation in the foveal and parafoveal region. Journal of the Optical Society of America, 71, 151-154.
- 62) 乾 敏郎(1982) 記憶の数理モデル 心理学評論  
25, 333-358.
- 63) 乾 敏郎(1983) 特徴抽出の確率的独立性および反応時間加算性  
知覚ワークショップ資料



- 64) Inui, T.(1983) The constant field size of lateral interference between detectors at any eccentricity. Japanese Journal of Psychonomic Science, 2, 17-19.
- 65) 乾 敏郎(1984) 瞬間視における特徴抽出の確立的独立性  
日本基礎心理学会誌, 2, 51-58.
- 66) Jeffreys, D.A. and Axford, J.G.(1972) Source locations of pattern-specific components of human visual evoked potentials: II. Components of extrastriate cortical origin. Experimental Brain Research, 16, 22-40.
- 67) Jonides, J., and Gleitman, H.(1976) The benefit of categorization in visual search: Target location without identification. Perception and Psychophysics, 20, 289-298.
- 68) Kawato, M., Tsukahara, N. (1977) A model for the reverberating circuit in the brain. Technical report of the institute of electronics and communications engineers of Japan. MBE 76-53, pp. 7-12.
- 69) King-Smith, P.E., Kulikowski, J.J.(1975) Pattern and flicker detection analysed by subthreshold summation. J. Physiol, 249, 519-548.
- 70) Klahr, D.(1973) Quantification processes. In W.G. Chase (Ed.) Visual information Processing. New York: Academic Press.
- 71) Macilwain, J.T.(1977) Topographic organization and convergence in corticotectal projections from area 17, 18, and 19 in the cat. J. Neurophysiol, 40, 189-198.
- 72) Maffei, L., and Fiorentini, A.(1973) The visual cortex as a spatial frequency analyzer. Vision Research, 13, 1255-1267.

- 73) Mathers, L.H., Rapisardi, S.C.(1973) Visual and somatosensory receptive fields of neurons in the squirrel monkey pulvinar. *Brain Res.* 64, 65-83.
- 74) Merikle, P.M.(1980) Selection from visual persistence by perceptual groups and category membership. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 279-295.
- 75) Neisser, U.(1967) *Cognitive Psychology*. Appleton-Century-Crofts.
- 76) Parker, D.M., and Salzen, E.A.(1977) Latency changes in the human visual evoked response to sinusoidal gratings. *Vision Research*, 17, 1201-1204.
- 77) Poggio, G.F. Baker, F.H., Mansfield, R.J.M., Sillito, A. and Grigg, P. (1975) Spatial and chromatic properties of neurons subserving foveal and parafoveal vision in rhesus monkey. *Brain Res.*, 100, 25-59.
- 78) Poggio, G.F., Doty, R.W., Jr. and Talbot, W.H.(1977) Foveal striate cortex of behaving monkey: Single-neuron response to square-wave gratings during fixation of gaze. *Journal of Neurophysiology*, 40, 1369-1391.
- 79) Rezac, M., Benevento, L.A.(1975) Some cortical projections of the inferior pulvinar in the rhesus monkey. *Anat. Record*, 181, 461.
- 80) Rocha-Miranda, C.E., Bender, D.B., Gross, C.G., Mishkin, M. (1975) Visual activation of neurons in inferotemporal cortex depends on striate cortex and forebrain commissures. *J. Neurophysiol.* 38, 475-491.

- 81) Rose, D. and Blakemore, C.(1974) Effects of bicuculline on functions of inhibition in visual cortex. *Nature*. (Lond.) 249, 375-377.
- 82) Rumelhart, D.E.(1970) A multicomponent theory of the perception of briefly exposed visual displays. *Journal of Mathematical Psychology*, 7, 191-218.
- 83) Schiller, P.H., Stryker, M.(1972) Single unit recording and stimulation in superior colliculus of the alert rhesus monkey. *J. Neurophysiol.* 35, 915-924.
- 84) Schiller, R.H., Finlay, B.L. and Volman, S.F.(1976) Quantitative studies of single-cell properties in monkey striate cortex. II. Orientation specificity and ocular dominance, *J. Neurophysiol.*, 39, 1320-1333.
- 85) Schneider, W., and Shiffrin, R.M.(1977) Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- 86) Schultz, T.(1980) Iconic memory-an artifact of perceptual reconstruction processes? *Psychological Research*, 42, 275-294.
- 87) Shiffrin, R.M., and Garner, G.T.(1972) Visual processing capacity and attentional control. *Journal of Experimental Psychology*, 93, 72-82.
- 88) Sillito, A.M.(1975) The effectiveness of bicuculline as an antagonist of GABA and visually evoked inhibition in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 250, 287-374.

- 89) Singer, W., and Bedworth, N.(1973) Inhibitory interaction between X and Y units in the cat lateral geniculate nucleus. Brain Research, 49, 291-307.
- 90) Sperling, G.(1960) The information available in brief visual presentation. Psychol. Monogr. 74, 1-29.
- 91) Sperling, G.(1963) A model for visual memory tasks. Human Factors, 5, 19-31.
- 92) Sperling, G.(1967) Successive approximations to a model for short-term memory. Acta Psychologica, 27, 285-292.
- 93) Stone, J., and Dreher, B.(1973) Projection of X- and Y-cells of the cat's lateral geniculate nucleus to area 17 and 18 of visual cortex. Journal of Neurophysiology, 36, 551-567.
- 94) Suzuki, R., Katsuno, I., Matano, K.(1971) Dynamics of neuron ring Kybernetik 8, 39-45.
- 95) Taylor, D.A.(1976) Stage analysis of reaction time. Psychological Bulletin, 83, 161-191.
- 96) Tolhurst, D.J.(1973) Separate channels for the analysis of the shape and movement of a moving visual stimulus. J. Physiol. 231, 385-402.
- 97) Townsend, J.T.(1974) Issues and models concerning the processing of a finite number of inputs. In B.H.Kantowitz (Ed.) Human Information Processing: Tutorials in performance and cognition. Potomac, Md: Erlbaum.
- 98) Townsend, J.T., and Ashby, F.G.(1982) Experimental test of contemporary mathematical models of visual letter recognition Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8, 834-864.

- 99) Treisman, A.M., and Gelade, G.(1980) A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- 100) Turvey, M.T., and Kravetz, S.(1970) Retrieval from iconic memory with shape as the selection criterion. *Perception and Psychophysics*, 8, 171-172.
- 101) Turvey, M.(1973) On peripheral and central processes in vision: Inferences from an information-processing analysis of masking with patterned stimuli. *Psychological Review*, 80, 1-52.
- 102) Vassilev, A., and Strashimirov, D.(1979) On the latency of human visually evoked response to sinusoidal gratings. *Vision Research*, 19, 843-845.
- 103) Vassilev, A., and Mitov, D.(1976) Perception time and spatial frequency. *Vision Research*, 16, 89-92.
- 104) Von Wright, J.M.(1968) Selection in immediate visual memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 62-68.
- 105) Wandmacher, J.(1976) Multicomponent theory of perception. *Psychological Research*, 39, 17-37.
- 106) Weisstein, N.(1973) Beyond the "yellow volkswagen detector" and "grandmother cell". In: *Contemporary issues in cognitive psychology*, pp. 17-51. Solso, R.L., ed. London: Wiley
- 107) Wilson, H.R., Cowan, J.D.(1972) Excitatory and inhibitory interactions in localized populations of model neurons. *Biophys. J.* 12, 1-24.
- 108) Williamson, S.J., Kaufman, L., and Brenner, D.(1978) Latency of the neuromagnetic response of the human visual cortex. *Vision Research*, 18, 107-110.

- 109) Wolford, G., and Hollingsworth, S.(1974a) Lateral masking in visual information processing. Perception and Psychophysics, 16, 315-320.
- 110) Wolford, G., and Hollingsworth, S.(1974b) Retinal location and string position as important variables in visual information processing. Perception and Psychophysics, 16, 437-442.
- 111) Wolford, G.L., and Hollingsworth, S.(1974) Retinal location and string position as important variables in visual information processing. Perception and Psychophysics, 16, 437-442.
- 112) Wolford, G.(1975) Perturbation model for letter identification. Psychological Review, 82, 184-199.
- 113) Zeki, S.M.(1969) Representation of central visual field in prestriate cortex of monkey. Brain Res., 14, 271-291.
- 114) Zinchenko, V.P., Vergiles, N. Yu. (1972) Formation of visual image. New York: Consultants Bureau.

## 第4章 継時的統合過程と視覚短期記憶

本章では継時的統合過程に関する基礎研究、特に継時的統合化が可能となるための時空間的拘束条件についての研究、並びに視覚短期記憶の特性に関する研究について述べる。

### §4-1. 心理学的背景<sup>1</sup>

#### 1. 継時的統合過程について

§3-1で述べたように外界を注視したとき、網膜に投影された像は、並列にある程度の前処理が施された後 (Von Wright, 1970)、ICON (もしくは VIS) と呼ばれるバッファーに貯えられる (Sperling, 1960)。

ICON の内容を基礎にして、視覚的に統合された内部表象は視覚イメージ (visual-image) と呼ばれている。視覚イメージは決して写真のようなものではなく、知覚体制化の法則に従って分節が生じている。また、ICON の内容

(脚注1) 乾敏郎 (1981) 参照。

は注視点が変わるごとに書きかえられるが、視覚イメージはさらに長い時間持続し、 $\frac{1}{4}$  sec で制限される事はない。それゆえ、視覚イメージは各注視点での部分情報が統合されたものであり、この意味で視覚世界全体の表現 (Haber と Hershenson, 1973) である。

Farley (1976)によれば、視覚イメージとは、視覚的特徴およびそれらの空間的関係の内的の意味表現であり、十分に外的事象に対応するとき知覚に分類されると述べている。視覚的イメージが貯えられる記憶を Visual STM (Short-term Memory) と呼んでいる。従来、記憶に関する研究は一般に言語的のもの (phonemes, syllables, words, semantic primitives) が多く、最近ようやく視覚イメージの構成単位やイメージ形成のアルゴリズムの研究が行われるようになった。Haber と Hershenson (1973)は、その著書「視知覚の心理学」でこのような事情を次のように述べている。

「不幸にも研究室で行われる多くの知覚



実験では、知覚者には一回の注視が可能な時間しか与えられていない。それゆえ、ICONの特性と視覚イメージの特性とを区別することが困難である。……（中略）……いかんせんこれらの統合と構成がなされるのかという点について、私の考えを導いてくれる証拠はほとんどない。事実、Gibson や Hochberg などごく少数の研究者を除いては、ほとんどこの過程がどのようにして起こるのかということに注意を払っていない。」（Haber と Hershenson, P. 174）

視覚イメージの形成に関する研究を困難にしているのは、その過程がきわめて能動的であり、かつ継時的であるということである。そこで、視覚イメージの形成過程について概略をまとめてみよう。私たちは、与えられた画像を一樣に走査（scan）するのではなく、またランダムに走査するでもない。私たちは、適当なアルゴリズムにしたがって、画像の部分を“選択”して走査している。この選択

性（もしくはサンプリング）が、この過程の第一に重要な要因である。これは、ある領域に対して加重操作を施すことに他ならない。これはまた、注視領域以外の情報が上位中枢に伝達されるのを抑制することに対応する（Inui, et, al, 1978）。第2に重要な点は、これらの選択が継時的に起って、全体像が形成されるということである。第3に重要な点は、ごく短時間で重要と思われる領域の決定が起こるということである。MackworthとMorandi（1967）は、一枚の絵を  $8 \times 8$  のマトリクス状に分割し、第1の被験者群には、それぞれの画素に対する情報の度合いを10段階に評定させた。また第2の被験者群には、絵全体を視角にして  $16^\circ \times 16^\circ$  の大きさで10秒間提示し、このときの眼球運動を測定した。その結果、第1群の評定から Mackworth が、情報集中領域（informative area）と考えた領域に注視点が1回目から2回目の注視で移動すること、情報量に関する評定と注視回数との間

にまわめて高い相関をもつことを見出している。この機能は、明らかに周辺視によるものであり、周辺視は、規則性を乱すもの、ながらも高次中枢が立てられた各時点における仮説に符合しない領域を検出する能力があると考えられる。私たちは、各部分を注視するとき、それぞれの注視点から得られた情報と、今注視している部分からの情報をもとにして、画像全体の仮説を強化する。そして、さらにその仮説を確認するために、その時点における新たな情報集中領域、を注視しようとする。このように、私たちの視覚系を含むより複雑な認知システムは、たえず「仮説の生成と検証 (hypothesis generation & verification)」をくりかえしながら、画像全体を把握しようとする。この点について別の見方をすれば、bottom-up (部分から全体へ) ならびに top-down (全体から部分へ) という情報処理様式をくりかえしながら、全体を把握しようとしているとも考えられる。

また Hochberg (1968) は、視覚情報を、各注視点における入力と、眼球運動による走査を通じて得られた図式地図 (schematic map) という質的に異なった2種類の情報に分け、視覚イメージの形成過程を明らかにする二を試みた。すなわち形成された視覚イメージとは、単に各注視点での情報の寄せ集めではなく、一連の入力情報が統合されたもので、一つの形に対する同時的印象を意味する。サルトル (1955) はその著「想像力の問題」の中で次のように述べている。

「私が『今知覚している対象物は正六面体だ』という場合は、私は私の知覚のその後の成行により、で、捨てることを余儀なくされることもあり得る。一つの仮説を立てているのだ。所るに私が『今そのイメージを私が抱いている対象物は正六面体だ』という場合には、私は一つの明証的判断を下しているのだ。」 (P. 14)

私たちは一連の走査 (scanning) を通じて、

能動的な仮説の生成と検証という操作を行ない、イメージ化されていない知識と結びついた形で内部表象を作り上げるのである。すなわち視覚イメージの形成過程は、構成的プロセスであると言える。このいわばパターン合成過程ともいうべき過程には、継時性、能動性および選択性といふ、に難しいいろいろな問題を宿んでいる。

## 2. 視覚イメージと視覚短期記憶

視覚イメージに関する研究は、少なくとも二つの過程について行なわなければならない。一つは知覚—記憶過程であり、もう一つは想像（もしくは再生）の過程である。前者におけるイメージは、perceptual image とか、memory image と呼ばれ、後者におけるイメージは、imagination image とか mental image と呼ばれている。実際、現代の認知心理学ではこの両面からイメージの研究が数多くなされている（Pylyshyn, 1972; Kosslyn & Pomerantz, 1977; Anderson,

1938 を参照)。ところが一方では、これら  
二つの過程が同一（もしくは同型）である  
ということを示す証拠が数多く提出されている  
（Shepard, 1935; Shepard と Chipman, 1930; Segal  
と Gordon, 1969; Segal と Fusella, 1930）。

つぎに視覚イメージの持続時間および、イ  
メージ形成に要する時間に関するいくつかの  
報告をまとめておく。Posner ら（1963, 1969）  
は、文字照合実験から、刺激の物理的形  
の情報を約1.5秒の間記憶していることを報告  
した。さらに、この記憶は（1）マスキングを  
受けない点、（2）記憶容量が VIS と比べて小  
さい点、（3）記憶保持が挿入課題による、と大  
きく影響される点から VIS と区別し、この記  
憶を視覚短期記憶と名づけた。Wilkins と Stewart  
（1974）は、Posner らの実験を左右大脳半球に  
おける記憶と関連づけて論じている。一方、  
Phillips と Baddeley（1971）は、5×5のマトリ  
クス状のランダムドットパターンを用いて、  
名前による符号化ができない場合には視覚

イメージは 9 秒間持続すると述べている。また、Phillips (1934) によれば、視覚イメージの持続時間はパターンの複雑さに依存しているという。たとえば、 $4 \times 4$  のマトリクス状のランダムドットパターンの場合その視覚イメージは、9 秒間持続するが  $8 \times 8$  のマトリクス状のランダムドットの場合は、3 秒しか持続しなかった。Parks ら (1932) は、挿入課題によって言語化できないようにすると、Posner のパラダイムを用いても、8 秒間持続するという。視覚短期記憶の詳細は後述する。

### 3. 読書および絵の認知における有効視野

大きさが視角で  $10^\circ$  を越えるような比較的大きなパターンを、長い時間観察するような条件下では、眼球運動による走査を通してパターン認識される。このとき、各注視点ではどれくらいの範囲の視覚情報が処理されているのかという疑問が生じるが、これに答える

ために、いわゆる有効視野の研究が行われている。

読書をしているとき、注視点よりどれくらい光量の情報を処理しているのであろうか。この疑問に答えるには、人工的に読者の視野を制限する装置を用いてしらべる必要がある。図75は、その一例を示している（斎田と池田、1973）。この装置では、被験者の目の動きを角膜反射法によって測定している。図の光電変換素子は目の角膜で反射された光を受けとり、その位置情報を電気信号に変換して出力する。この電気信号はX-Yオシロスコープによって再び光点として表示される。カメラIはこの光点をとらえており、したがって被験者がTVディスプレイのどの位置を注視しているかをモニターしていることになる。カメラIIは、被験者が読むべき文章全体をとらえている。この二台のカメラ出力をテレビミキサーに入力し、カメラIでとらえた光点のまわりの部分だけがカメラIIの画像が



らとり出されて被験者が見ているモニタテレビに表示される。この結果、眼球運動に追従しながら被験者が注視している文章の部分だけをTVディスプレイに提示でき、しかも提示部分の大きさを変えることにより被験者の視野の広さを人工的に変えることができる。

このようにして日本語文章を理解するために必要な時間と視野の広さの関係をしらべると、視野が $8^{\circ}$ （約10文字）以上にならないと正常の速さで読書ができないことが明らかにされた（斎田と池田, 1973）。そして視野が $8^{\circ}$ 以下になると急速に読書の速さが低下するという。これは、1行の文字数を1行当りの注視回数で割った1.33語（1.55に当る; Taylor, 1957）よりはるかに広い。私たちは本当に、このような広い範囲にわたって意味情報を処理しているのだろうか。

McConkie と Rayner (1975) はこの疑問に答えるためにコンピュータ制御のディスプレイを使用し、読書時の有効視野をしらべている。

上記の実験（斎田と池田，1977）と同様、被験者がディスプレイ上の任意の位置を注視すると注視点の前後の何文字かが提示される。この文字数を窓の大きさ（window size）と呼んでいる。このとき、周辺情報として

- (i) 窓以外の部分が図76に示すごとくすべて空白なくXで満たされている条件（これをXF条件と呼ぶ）。
- (ii) テキストの大文字はXで、小文字はXに置きかえ、空白部分はそのままにしておく条件（これをXS条件と呼ぶ）。
- (iii) テキストの各文字を Confusion matrix にもとづき、形のよく似た文字と置きかえて提示する条件（これをC条件と呼ぶ）。
- (iv) テキストの各文字を全くでたらめに他の文字と置きかえて提示する条件（これをNC条件と呼ぶ）。

以上の4つの条件下で読書時のサッケード（saccade）の長さや固視時間の分布をしらべた。たとえば、XF条件では周辺には全く情報

がなく、XS条件では単語の長さの情報が与えられている。窓の大きさが小さいときは、あきらかにS条件間で差が生ずるであろう。しかしながら、単語の長さの情報が処理されている範囲まで窓の大きさを広げれば、やはりこのS条件下における結果に差は生じないであろう。Raynerら(1975)によれば、サットードの長さは空白の有無にのみ依存するのに対し、固視時間は空白の有無に無関係であり、文字の置きかえにのみ依存すると述べている。またXS条件とXF条件を比較することにより、単語の長さは注視点より右12～15文字まで処理されていることを明らかにしている。さらに、C条件とNC条件との比較から、注視点より右10文字まで単語全体の形を処理していることがわかった。さらにRayner(1975)は

- (1) 単語の長さの情報は固視点より右12～15文字(3°-4°)
- (2) 単語全体の形は固視点より右10文字

(3) 単語の意味内容は固視点より右々へも文字より処理をしていることを明らかにした。

ス次元パターンの認識において視野を制限した場合、読書の場合と異なりさらに興味深い事態が生ずる。Watanabe と Yoshida (ノタマ) は、大きさが  $15^{\circ}$  ～  $17^{\circ}$  のパターンを中心視 ( $3^{\circ}$  視野) でみた場合、その形は把握できなると報告した。たとえば、このような大きさのひらがな1文字を被験者が中心視した場合、すべての部分を観察しているにもかかわらず約60秒後に無意味図形であると判断した。このとき、被験者はパターンの構造すなわち部分間の関係が理解できなかった、たということになるのであろうか。そこで、被験者に印象をスケッチさせると、ほぼ正確にスケッチができ、それを見てはじめてひらがなであることに気づいた。すなわち、視野制限下ではパターンの構造が再生できるにもかかわらず、全体の意味が了解されないという事実があることを明らかにした。

Saida と Ikeda (1979) は、パターン認識における視野の広さの役割を短期記憶照合実験でしらべている。被験者に4種類の視野の広さで絵を一定時間観察させた後、記憶照合実験を行ない70%の再認率を得るのに必要な絵の観察時間を求めた。この結果、正常な時間（視野を制限しないときに70%正答率を得るのに必要な観察時間）で絵を記憶するためには、パターン全体の50%以上の視野が必要である。また、記憶すべきパターンの大きさは  $14.4^{\circ} \times 12.8^{\circ}$  と  $10.2^{\circ} \times 12.3^{\circ}$  の2種類について行なわれたが、再認率は視野の広さの絶対値で決まるのではなく、パターン全体に対する視野面積の割合で決まることを示した。

## § 4-2. 顔の認知における刺激提示面積 の効果 (I) 局所情報が存在する 場合<sup>1</sup>

### 1. はじめに

本節では被験者が同時に見える刺激の部分の面積（以後、提示される刺激の部分を窓と呼ぶことにする）と認知率との部分をしらべる。

現実の日常生活において、私たちが見るのは意味あるパターンであり、無意味な図形や文字列ではない。そこで、刺激パターンとして何を採用するかは、問題となる。対象の選択のしかたいかんでは、異なる結果が生じる可能性がある。たとえば精神医学の分野で、失認症に関する研究があるが、表13に示すごとく、物体失認、相貌失認、視覚失認性失読、同時失認など対象に限定された失認が生じる。それゆえ、私たちは、物体、文字、文章

(脚注1) Inui & Miyamoto (1984) 参照。

風景、顔等、異なる対象に関連したパターン認識のメカニズムについて、種々の異なる面から着実にデータを集積することにより、はじめにヒトのパターン認識過程が明らかにされてくると考えられる。

本節では、顔の認識という課題を通じて視覚イメージの形式過程について考察する。このような課題を選んだのは、主として次の3つの理由による。

第1に、人の顔を見るとき、全体的印象が先行し、顔の部分は知覚されないことがあると、古くから言われていて、画像の中でも特殊なものであり、

第2に、部分的な構成要素その自体が一つの意味のある画像であるが、全体として一つの概念的にとまると、た画像であり（言いかえ  
ると、一つの知覚ゲシュタルトを構成する

。Miller (1956) の言葉を使うならば、単一の  
チャンクが存在するという事に相当する）、

第3に、仮に知覚している人の顔があれば、そ

の人の名前を言わせることと、被験者が全体を把握できたかどうかを知ることができるということである。顔の一部の特徴だけを提示した場合に、それが誰の顔であるのか言えてくることは困難である（この点については後で吟味する）。

既に述べたように、視覚イメージは絵のようなもの（picture metaphor）ではなくて、部分間の関係を表現したものでして貯蔵されている。Palmer (1969) は知覚-記憶イメージが選択的に組織化されたデータ構造であるという考えのもとに図 77 に示すような階層的ネットワークに、イメージが表現されると考え、これを支持するデータも示している。図 77 の中で  $SU$  と記されているのは構造単位 (structural unit) を意味し、これは Miller (1956) のチャンクに対応するものである。 $R$  は  $SU$  間の幾何学的関係で、 $P$  は  $SU$  の全体的な特性 (global property) で、 $V$  はその定量的な値を示している。上位レベルの  $SU$  程図形の全体的構造を



表現しており、その複数個の下位レベルの  
 $S$  と関係  $R$  により定義されている。上位  
 レベルの  $P$  は、たとえば、対称性、閉合性、  
 簡潔性などが考えられ、下位レベルの  $P$  とし  
 ては、角度、方向、位置が考えられる。一般  
 に、このような1つの構造単位により支配  
 されるネットワークは、スキーマ (schema) と  
 呼ばれている。異なる組織化は図形の異なる  
 「見え方」を表現しているということになる。  
 ここで、この「見え方」をめぐるいろいろ  
 の疑問がわいてくる。たとえば、ある図形  
 が与えられたとき、どのようにして選択的組  
 織化がなされるのだろうか、いかにして図形  
 パーザが下位の構造単位を作るのだろうか、  
 そして多くの組織化の可能性の中から、よ  
 り自然な分節はどのようにして計算されるの  
 だろうかなど興味深い問題が多い。Palmer  
 (1973) は、簡単な分節のアルゴリズムも提  
 案している。一方 Bower と Glass (1976) は、  
 いくつかの無意味図形を記憶させ、部分図形

を手がかりに原図形の再生成績 (redintegrative power と呼ぶ) をしらべることにし、で同様の結果を得ている。特に興味深いのは、何度も異なる手がかりで同一の原図形を再生させたときの結果である。手がかりとなる部分図形のはたさ (goodness) が高いときは、再生率は再生回数とともに高い上昇を示すが、手がかりとなる部分図形のはたさが低いときは上昇はほとんどみられなく、 $T=1$  (たとえば以前に3回再生可能であつた図形に対してでも、4度目の試行で手がかりとなる部分図形のはたさが低いときの再生率は38% であつた)。このときは、手がかりとなる図形の構造が記憶表象内の構造単位と一致しない限り、手がかりが記憶イメージと接触できないことを示唆する。

最近、このように、視覚イメージが意味ネットワーク構造として内部表現されているという間接的証拠が漸次明らかになってつた。さらに、より複雑なパターンを用いた記憶実験から、全体のパターンがゲシュタルトの

法則や世界の知識 (world knowledge) に基づいていくつかのチャンクに分解され記憶されていることが示唆されている (ドットパターン: Wilton & File, 1975; Bartram, 1978; 積み木: Akin & Chase, 1978; チェス: Chase & Simon, 1976)。本実験では、長期記憶に貯えられている顔の視覚イメージと照合可能な窓の大きさをしらべる。

## 2. 実験方法

装置 図78に示すようなテレビジョンミキシングシステムを使用した。被験者の手とのレバーを上下左右に動かすことにより、テレビ上で窓を自由に移動させることが可能である。カメラ (もしくはビデオ) 1で撮った顔写真全体の映像と、カメラ (もしくはビデオ) 2で撮った背景の映像と、窓の位置と大きさを決めるデジタル回路の出力をテレビミキサーで合成する。背景の映像は、通常は使用しておらずしたがって黒である。被験

者は、手元のレバーを動かして、窓の位置を自由に動かすことができる。実験者は、別室でモニターテレビにより、被験者の走査過程を記録、観察した。

刺激 対象として、有名人の顔写真、20枚を20枚ごとの6グループに分けて用いた。各グループごとに、窓の大きさを変化させた。視野の広さは、視角にして  $0.9^\circ \times 0.9^\circ$ 、 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 、 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ 、 $2.0^\circ \times 2.0^\circ$ 、 $3.0^\circ \times 3.0^\circ$ 、 $4.0^\circ \times 4.0^\circ$  の6種類とした。これらの面積は全体のおよそ 3%、6%、10%、18%、33%、50%であった。被験者とディスプレイの距離は、155cm。テレビは  $5.0^\circ \times 5.0^\circ$  の正方形の穴があいている板で覆われており、顔写真は、その正方形一ぱいに提示されるようにカメラで調整されているが、被験者からは窓（図78に示されたTVディスプレイの左目のみが見えている四角）の部分しか見えぬ。なお、顔写真は正面からのもので背景は黒であった。目の大きさは約  $1.2^\circ$  ( $\phi = 0.1$ )、口の大きさ

きさ約  $1.2^\circ$  ( $\sigma = 0.05^\circ$ ) であつた。

手続き スタート合図とともに、被験者は手元のレバーによつて、テレビディスプレイ上の窓の位置を動かして、顔写真を見る。このとき、被験者がその顔写真が誰であるかがわかるまでに要する時間を測定した。ただし各条件によつて、あらかじめ制限時間をとつけ、その時間内での認否をしらべ、かつ反応時間を測定した。その制限時間は、視角が  $0.9^\circ \times 0.9^\circ$  のときは 90 sec、 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$  及び  $1.7^\circ \times 1.7^\circ$  の場合は 60 sec、 $2.2^\circ \times 2.2^\circ$  では 30 sec、 $3.0^\circ \times 3.0^\circ$  および  $4.8^\circ \times 4.8^\circ$  は 15 sec とした。実験の開始に際して、被験者に与える指示は、最小限にとどめた。「これから、目の前にあるテレビのディスプレイに、有名人の顔が出る。それらは、歌手、俳優、落語家、政治家、野球選手です。」被験者の課題は、提示された顔が誰であることを判定することである。しかし、たとえ名前が思い出せない場合でも、その人が何をする人か、あるい

のどんな事件に関係がある人かを答えること  
によって、実験者の被験者の解答が誰を意味  
しているかわかればよい（名前以外の表現  
を認める）。実験終了後、知名度テストを行  
った。

知名度テスト；実験に使用した顔写真全体を  
TVディスプレイに80sec間提示し、誰の顔  
かを判断させた。その提示時間の前後は、常  
にノイズマスクが提示された。このテストに  
よって、個々の被験者についての写真に対す  
る知名度がわかる。提示時間は、予備実験の  
結果から決定した。

被験者 男子3名ならびに女子3名（平  
均年齢22才）で、全員視力は正常であつた。  
。

### 3. 結果および考察

知名度テストの結果、判定可能で、かつ正  
解の判定所要時間から、平均反応時間を求め  
、窓の面積との関係を調べた。被験者10名の

平均値を図79に示した。図中の△印は、顔写真全体が提示されたから反応するまでの平均反応時間で、これは別の実験で得られたデータである。正答率においては窓の大きさの主効果は有意であつた ( $F(5,35) = 20.4, P < 0.005$  ; ただし100%の窓の条件を除く)。図79に示さるごとく、窓を次第に小さくすると、全体の18%まで縮小されると、正答率(黒四角: ■印)は、有意に低下し ( $P < 0.01$  ; Tukey test)、誤答率が増加した。また、視野が全体の5%になると、正答率は50%に低下し、さらに3%以下になるときは、ほとんど認識不可能であつた。この点については、予備実験において、視野の広さが  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$  の場合について調べた。図79の黒丸(●印)は、正答時の平均反応時間を示している。窓を小さくすることにより、反応時間は有意に増加した ( $F(5,35) = 29.9, P < 0.05$ )。視野が全体の18%以下になると、反応時間の有意な増加が見られた ( $P < 0.01$  ; Tukey test)

次に、図80に誤判断の割合（誤判断の回数  
を、判定不能の場合も含めた全誤答数で割  
ったもの）とその平均反応時間を示している。  
視野が全体の18%より狭くなると誤答（○印）  
が増加し、さらに10%より狭くなると、誤答  
率が低下した。これは10%以下の場合には、  
認識不可能の回数が急激に増加する事を意味  
する。一方、反応時間（■印）は視野の広さ  
の単調関数になり、という。

これらの結果は、局所情報がある場合全体  
の20%以上の窓であれば正しく顔を認知する  
ことができることを示唆している。しかし、  
局所情報が存在する場合、被験者は決して一  
様に顔を走査しているのではない。特に情報  
が集中している領域（これを informative area  
と呼ぶ； Mackworth & Morandi, 1967）を走査  
する頻度が高い。そこで最小の窓の大きさ（  
この大きさでは完全に写真の片眼を同時に見  
ることもできない）の条件で45試行をラン  
ダムに選び、被験者の走査のしかたを分析し



た。その結果眼を走査する割合が最も高く、ついで口、鼻の順であった。これらの走査回数比は 5:1.5:1 であった(図81)。この結果は、眼球運動とは異なり、informative area を探索する過程であるが、顔をみるときの眼球運動を分析した Haith ら(1978)とほぼ一致している。本実験では局所的な手がかりを統合して(仮説と検証というサイクルをくりかえして)顔を認知したものと思われる。しかし、正しく認知するためには窓の大きさが20%以上なければならなかった。しかし、この条件においても決して被験者が全体的な顔のイメージをつかめたかどうかは疑問である。次の2つの節ではこの点について吟味する。なお、予備実験で部分的手がかりのどの程度顔を同定できるかをしらべたので簡単に述べておく。

本実験で使った public face のうち、4グループ80枚の顔写真を約5°の大きさでテレビジョンディスプレイに次の3条件で5秒

間提示し、誰の顔であるかを答えさせた。

条件1 (T型マスク) ; テレビミキサーを用いて、両側の眉毛、目、おまげ鼻、口の部分以外をマスクする (図82参照)。

条件2 (一型マスク) ; テレビミキサーにより、両側の眉毛と目以外をマスクする。

条件3 ; 片側の眉毛と目以外をマスクする。以上の3条件についての実験を終えた後、実験に使用した顔写真を80msの間提示して誰の顔かを判断させ、正答が得られた顔写真に対する結果のみをデータとした。したがって、被験者に顔写真全体を見せた場合には100%誰の顔であるかを正確に判断できることになる。各条件における被験者8名の平均正答率は、条件1で76.7%、条件2で46.5%、条件3で8%であった。両側の眉毛と目というかなり高い情報をもつ (informative) 領域を同時に見ても、正答率が50%に達しないことから、顔の判断に局所的な特徴のみからでは困難であることがわかる。GoldsteinとMackenberg

(1966)は、小学生に同級生の顔を種々の条件下で判断させたところ、小学5年生で、両目だけで10%、両目と鼻でも47%しか正答が得られなかったと報告している。

### §4-3. ボケの度合と認知能力

次節で述べる実験を行なうための予備データを得る目的で施行した。すなわち low-pass-filter の遮断周波数と認知能力との関係をしらべた。

#### 1. 実験方法

装置 §4-1で述べたものと同じテレビミキシングシステム(図78)を用いた。

刺激 前節で述べた6グループの顔写真のうち、各グループ100枚を用いた(提示されたときの顔の大きさは、ほぼ一定)。5.3°×5.3°のディスプレイに矩形波格子(grating)を提示しこぼが見えなくなると、カメラの

ピントをボカす。この状態で顔写真を提示する。矩形波の空間周波数は、 $20\text{c}/\text{display}$ 、 $14\text{c}/\text{display}$ 、 $10\text{c}/\text{display}$ 、 $8\text{c}/\text{display}$ 、 $6\text{c}/\text{display}$  の5種で、これは  $0.8\text{cpd}$  (cycle per degree)、 $2.7\text{cpd}$ 、 $1.9\text{cpd}$ 、 $1.5\text{cpd}$ 、 $1.2\text{cpd}$  に対応する。この空間周波数の値をここに、遮断周波数 (cut-off frequency) と呼ぶことにする。

手続き スタートの合図とともに、顔写真がディスプレイ全体に5sec間提示される。被験者にその顔が誰であるかを答えさせた。提示開始後5secを過ぎても答えなくてもいい。この場合も名前以外の表現を許した。

被験者 男子3名、女子3名(平均年齢20才)で、全員視力は正常であった。

## 2. 実験結果

まず、正答率と遮断周波数との関係を表4に示した。視力1.0の者は、高いコントラストをもつ  $150\text{c}/\text{display}$  の矩形波を識別するにと

が可能である。表14にみられるごとく、高周波成分を削ってゆき、遮断周波数が  $20c/\text{display}$  になると、でもまだ100%認知可能であつた。遮断周波数が  $9c/\text{display}$  のときには、50%の正答率が得られた。遮断周波数が  $14c/\text{display}$  以下の顔写真では  $3\text{cpd}$  以下の低周波数成分のみで認知していることになる。この事實は、視覚系の空間周波数チャンネルの理論（この点については、第3章§3-1を参照）との対応を考へることには興味ぶかい。

Harmon (1973) も述べているように、予想外に人間の認知能力が高かつた。局所的手がかりは、遮断周波数が  $12 \sim 13c/\text{display}$  の付近で全くなくなる。この場合の局所的手がかりとは、目や鼻の形などの部分情報を意味する。

## §4-4. 顔の認知における刺激提示面積の効果(Ⅱ)局所情報がない場合

本節で述べたように、私たちはたとえ目や口の形といった局所的な情報がない状態においても、人の顔を認知することが出来る。このことは、全体的なイメージとも言えるべきものを手がかりとして、顔を認知していることを示唆している。そこで、本実験においては、全体的な顔の情報処理機構の手がかりを得るために、§4-2で述べた実験と同様の方法によって、窓の広さと認知能力との関係を探らばた。

### 1. 実験方法

装置 §4-2で述べたものと同じテレビミキシングシステムを用いた。

刺激 10c/display の遮断周波数の条件で行った。その理由は、局所的情報が全くな

く、かつ比較的正答率が高かった（70%）にとらえる。この条件で提示した写真で、窓を通して走査させて認知させた。この場合、窓の大きさは  $25^{\circ} \times 25^{\circ}$ 、 $30^{\circ} \times 30^{\circ}$ 、 $35.8^{\circ} \times 35.8^{\circ}$ 、 $50^{\circ} \times 50^{\circ}$  の4種類とした。

手続き スタートの合図と共に前述のごとく、被験者は窓の位置をレバーにより動かしながら、顔写真を見た。このとき、被験者が誰の顔写真であるかわかるまでの時間を測定した。ただし、各条件によりあらかじめ制限時間をもうけ、その範囲で認否をせらば、かつ認知時間を測定した。制限時間は、 $25^{\circ} \times 25^{\circ}$  と  $30^{\circ} \times 30^{\circ}$  が 30 sec、 $35.8^{\circ} \times 35.8^{\circ}$  が 40 sec、 $50^{\circ} \times 50^{\circ}$  が 5 sec とし、被験者の課題は、提示された顔が誰であるかを判定することであり、名前以外の表現を認めた。

被験者 男子3名および女子3名（平均年齢21才）で、全員視力は正常であった。

## 2. 結果および考察

図83は、正答率（■印）と正答率の平均反

応時間(●印)を示している。全体を同時に  
 見せた場合の平均正答率は75%であり、こ  
 れは前節で述べた結果の70%とほぼ一致して  
 いた。したがって、前節で述べた実験の被験  
 者群と本被験者群との間には、大きな差はな  
 いと考えられる。正答率に関して、窓の大き  
 さの主効果は有意であった( $F(2,15)=16.21$ ,  
 $P<0.005$ )。窓の大きさを制限してゆき、その  
 広さが全体の33%になると、正答率(■印)  
 は、有意に低下した(Tukey test,  $P<0.005$ )。  
 また、平均反応時間に関して窓の大きさの主  
 効果は有意であった( $F(2,15)=17.02$ ,  $P<0.005$ )。  
 また、窓の大きさが25%のときの正答率は、  
 全体を同時に見たときの約50%であった。本  
 実験から全体の50%を同時に見なければ全体  
 のイメージを正確に把握することができないこ  
 とが明らかにされた。

### 3. 一般論議

絵の認識は一般に2種類の情報に基づいて



いる。すなわち、個々の詳細な情報 (specific detail information) と、もう一つは一般的情報 (general information) である (たとえば Loftus & Bell, 1975)。顔の認識の場合に、古くから局所的特徴もしくは全体的特徴に基づいていることが示唆されていた。Carey & Diamond (1977) は、そのような情報を "piecemeal" と "configurational" と呼んで区別している。もし、顔の認知が、局所的な詳細な情報の集合に基づいているならば、我々は非常に小さい窓によって顔を認識できるはずである。しかしながら本実験では窓がそれぞれの局所的な特徴 (たとえば目、鼻、口など) の大きさであって、顔は同定できなかつた。そして、全体の  $\frac{1}{4}$  というかなり大きな面積になっても完全に同定できるようになつた。また、全体の  $\frac{1}{4}$  の広さのとき、50% 以下の正答率であつた。したがって全体の  $\frac{1}{4}$  以上の部分を同時に処理しなければ、長期記憶とうまく照合できないということになる。しかし、もう一つの重要な問題は、

比較的小さい窓の場合のスキミングが Hochberg (1968) の言う "successive glances and schema-testing" の過程を使っているという 5 ことである。schema-testing の結果、窓の条件であ っても目や口がより高い頻度で走査されたの 10 である。しかし、そのとき被験者が正しく答 えたとしても顔写真の全体的特性を内的に構 成できていたのであろうか。それ、継時情 報の単なる集合にすぎなかったのかもしやな 15 い。さらに Ikeda & Uchikawa (1978) の言う "logical image" であって正確な対象のイメージ とも異なっているかもしれない。被験者の内 観でも窓の大きさが全体の10%や18%では局 所情報の寄せ集めにすぎないということを示 20 唆している。

§4-3 で見たように、局所情報が無い場 合に完全に同定することができなかった。し 25 たがって局所情報の正確な顔の同定には不可 欠なものである。さらに局所情報が無い場合、 窓の広さが全体の33%になると正答率が急

に低下した。局所情報がない場合、被験者は全体のイメージを内的に構成せねばならない。それゆえ、全体のイメージを正確に内的に構成できるためには、全体のおよそ半分を同時に処理することが必要であろう。

本研究を通じて、窓による制限のないときの同定率を得るために必要な最小の窓の大きさを2つの条件で求めた。その結果、局所情報がないときは、局所情報が存在するときの2倍の広さが必要であることが明らかにされた。最後に、本結果を基礎にして、顔の記憶表象の構造について考察しよう。§4-2の1において、Palmer(1977)や Bowerと Glass(1976)が手がかりとなる図形の構造が記憶表象内の構造単位と一致しない限り、手がかりが記憶イメージと接触できないことを示唆していることを述べた。我々も彼らと同様に Palmer(1977)の言うイメージの階層構造における第2レベルのそれぞれの構造単位を窓の大きさが覆うような広さでなければ再認できないと仮定し

た。このように仮定すれば、第2レベルの構造単位の大きさは全体の $\frac{1}{6}$ くらいであり、それは個々の目、口、舌よりも大きい単位であるということになる。

## § 4-5. 網膜色素変性症患者における長さの比較能力 —人工的視野制限との比較<sup>1</sup>—

視野狭窄の網膜色素変性患者および人工的に視野を制限された正常人に対し、長さの比較能力をしらべた結果について述べる。本研究の第1の目的は、要素的感覚（たとえば視力、視覚感度など）検査法しかないため、視野狭窄患者の認識能力を以下に述べる長さ弁別検査を通じて評価することである。第2の目的は、視野の広さがパターン認識に及ぼす影響を定量的に知る手がかりを得るためである。言いかえると、通常どれくらいの範囲から視覚情報が総合されているのかを知るためである。

### 1. 実験方法

装置および手続き

自由視条件：あざ台

(脚注1) Inui & Ohmi (1982) 参照。

(a chin and forehead rest) を用いてスクリーンと目の距離を  $30\text{cm}$  に保った。スクリーンの中央には固視点があり、試行開始の合図とともに固視点の両側に1対の水平線分(長さそれぞれ  $L$  と  $L + \Delta L$ ) が提示された。線分の太さは  $5\text{mm}$  ( $56\text{min}$ ) で、黒地に白で5秒間提示された。被験者は、線分比較のさいあごおよび前額が同じ位置であれば目や顔を動かしてよい。この時、被験者にいずれの線分(左か右か)が長いかわるいは同じかを答えさせた。

用いられた線分の長さ  $L$  は  $3\text{cm}$ 、 $5\text{cm}$ 、 $10\text{cm}$ 、 $22\text{cm}$ 、 $35\text{cm}$  で、それぞれ視角  $5.7^\circ$ 、 $9.5^\circ$ 、 $19^\circ$ 、 $40.3^\circ$ 、 $60.2^\circ$  に対応する。各セッションにおいて極限法下降系列から各線分  $L$  に対する長さの弁別閾  $\Delta L$  を求めた。また、各セッションにおいて、最初の5~6回の予備試行でおおよそ閾値付近に  $\Delta L$  を設定し、その後  $1\text{mm}$  ずつ  $\Delta L$  を減少させた。3~4試行に1回、同じ長さ ( $\Delta L = 0$ ) の線分を提示した。なお、

正常人 T.T., 患者 Y.T. に対しては線分比較時の E.O.G. を測定した (図 84)。

人工的に視野を制限した場合：先端にピンホールをもつ紙製の筒を E.R.G. 測定用 Lo-Vac コンタクトレンズ (Medical Workshop 社製) 上に取りつけ、これを装着した状態で上述の実験を行なった (図 85)。実験に先立ち、塩酸プロカイン点眼液による点眼麻酔の後、眼検査用角膜保護剤を用いてコンタクトレンズを装置した。自然視条件と同様、線分比較のさいは目や顔を動かしてよいとした。用いられた規準線分の長さ 17、30cm、50cm、70cm、120cm、170cm、220cm でそれぞれ視角は、5.7°、9.5°、15.3°、22.6°、31.6°、40.3° である。

両条件とも、実験に先立ち、使用したスクリーン上で改めて水平視野を測定した。実験はすべて単眼視で行われた。

被験者 まず正常人 3 名 (T.T., T.N., T.T.), 網膜色素変性症患者 3 名 (Y.T., H.O., Y.M.) により、自然視条件で検査が行

わかれた。網膜色素変性症患者3名の視野を  
 図86に、年齢および視力を表15に示す。正常  
 人3名の、さらに人工的に視野を制限して長  
 さの比較を行なった。上述のコクタクトレン  
 ズ装着時の視野は3名とも、約 $20^\circ$ であつた。  
 正常人3名の裸眼視力はいずれも $1/2$ であ  
 り、したがってLo-Vacコクタクトレンズ装着時の  
 $0.7$ であつた。

## 2. 実験結果

自然視条件での結果を図87に示す。図の横  
 軸は規準線分の長さ $L$  (cm)、縦軸は弁別閾 $\Delta I$   
 (mm)を表わし、白丸は正常人3名の平均値  
 である。図から明らかになるように、正常人の場  
 合、規準線分の長さ $L$ が $35$  cm (視角 $60.2^\circ$ )ま  
 で、 $\Delta L$ は $L$ に比例して増大していく。言いか  
 えれば、 $L$ にかかわらずWeber比 $\Delta L/L$ が一  
 定であり、その値は $0.033$ と比較的小さい値  
 を示している。一方、図87の黒丸は網膜色素  
 変性症患者3名の平均値である。網膜色素変



性症患者3名の水平視野の平均値は約 $21^{\circ}$ であつた(図86)。図から明らかになるように、規準線分の長さが $10\text{cm}$ を境にして Weber 比が $0.067$ から $0.22$ と大きく変化している。

つぎに、人工的に視野を制限した条件での3名のを図88に示す(図中の三角)。図88の白丸は、図87と同一被験者の自然視条件での結果である。図から明らかになるように、規準線分の長さが $10\text{cm}$ を境にして Weber 比が $0.05$ から $0.18$ と大きく変化している。こゝに、ほぼ同じ大きさの視野をもつ網膜色素変性症患者の自然視条件で得られた値にきわめて近い値がある。

### 3. 考察

以上述べた結果を要約すると、

- (1) 正常人においては、規準線分の長さが $60.2^{\circ}$ まで一定の Weber 比( $0.033$ )を示した。
- (2) 網膜色素変性症患者においては、規準線分の長さが視野より大きくなると Weber 比が

約3倍に増加した ( $0.067 \rightarrow 0.22$ )。

- (3) 正常人において人工的に視野を制限すると、網膜色素変性症患者とほぼ同じ結果が得られた ( $0.05 \rightarrow 0.18$ )。

正常人の自然視条件でのデータは、わかれわかれが相当広い範囲から同時に長さの情報を抽出していることを示している。また彼らの Weber 比は、他の文献と比べてやや高い。たとえば Ikeda ら (1977) の場合 Weber 比は  $0.023$  であり、Fechner (1860) の場合  $0.025$  である。これは練習効果や、判断基準のとり方によって変化するものであり、むしろほぼ一定の Weber 比を得たことから、正確な判断を下していたとみるべきであろう。一方、網膜色素変性症患者と正常人の人工的視野制限条件では一致した傾向が得られた。これは両者とも視野の広さがほぼ等しく、しかも視力も近い値だ、だからであろう。これらの結果は、まず、同時に線分が知覚されなければ、正確な判断ができないということを示すもの

である。言いかえると、サッケード前後の視覚情報は長さに関して正確な統合が行われないということである。また、常に視野狭窄状態にある患者と視野制限された正常人とからほぼ同じ結果が得られたことは、学習によってこれらの傾向は変わらないことを示している。すなわち、学習によってサッケード前後の長さに関する視覚情報が統合されることはないと結論できる。なお、規準線分の長さが  $20^\circ$  以下の部分で正常人の自由視条件で得られた Weber 比が、他の条件より小さかったが、これは、網膜色素変性症患者と視野制限された正常人の視力が正常人の自由視条件の  $1/2$  であることによるものと考えられる。このことから、図87の結果が、網膜色素変性症患者が正常人と長さの判断能力それ自体はかわりないことがわかる。

以上、長さの判断を通じて視野の役割を考察した。長さの判断は認知過程のうち最も基本的で重要なものと考えられ、より高次の認

識に及ぶ視野の影響も実は、長さの誤認に  
基くものであらうと考えられる。

## § 4-6. 継時処理における時間的制約条件について<sup>1</sup>

§ 4-1 で述べたように視覚情報獲得過程は継時的であるといえる。それは眼球運動走査や内的走査によ、て可能になる。眼球運動による走査の場合、平均200~300msの固視と数十ミリ秒のサッケードがくりかえされる。しかしながらサッケード中の情報は取り込まれないといわれている (Saccadic Omission: Campbell と Wurtz, 1978)。本節では、継時入力された情報が処理される時間的な制約条件について述べる。

### 1. はじめに

Loftus (1972) は、絵を記憶するときの眼球運動と再認率の関係をしらべた。再認実験は、すでに提示された180枚の絵に180枚の絵 (distractor) が加えられ、それからランダムに

(脚注1) Inui & Miyamoto (1981) 参照。

順序で提示され、被験者がすでに見た絵かどうかを判断させた。その結果、

(1) 注視回数と再認率との間には正の相関が見られた。

(2) 注視回数が等しければ、絵の点数とは無関係に再認率が等しくなった。

(3) 絵に対する点数と注視時間には正の相関がみられたが、注視時間と再認率との間には相関はなかった。つぎに Loftus は、絵の提示時間と再認率の関係をしらべるために、提示時間を 0.5 秒、0.7 秒、1.0 秒、3.0 秒、5.0 秒の 5 種類にして同様の実験を行なった。この結果、

(1) 絵の提示時間が等しいとき、再認率は注視回数によって決まる。

(2) 注視回数が等しければ、再認率は提示時間によらない。

これらの結果から Loftus (1972) は再認率が各注視点におけるはじめの一定時間だけに影響されるのではないかと考えた。

Potter (1976) は、16枚の互いに無関係な写真を高速継時提示し、検出実験と再認実験を行なった。彼女の実験はつぎのとおりである。16ミリのプロジェクターで写真を $8^{\circ} \times 12^{\circ}$ の大きさで継時提示する。1枚の絵の提示時間は、110、160、250、333ミリ秒、ISI = 0の条件で16枚の絵を継時的に提示した。検出実験では、あらかじめターゲットの絵そのものを5秒間提示される条件 (picture target) と、絵のタイトル (たとえば自動車が止まっている道路など) を5秒間提示される条件 (name target) がある。被験者はターゲットが出ればできるだけ速く反応キーを押すよう提示された。一方、再認実験では16枚の絵が提示された後、提示されたか、16枚の絵とともに12枚の絵がランダムな順序で提示し、被験者には、前に提示された絵であるかどうかを yes、may be、not sure、no の4段階で答えさせた。その結果、

(1) 提示時間が125ミリ秒で70%以上の検出が

可能であつた。

(2) 検出率は picture target の方が、name target よりもわずかにあるが有意に高かつた。

(3) 再認率は、提示時間が  $333\text{ms}$  でも、約50% であつた。

Potter (1976) はさらにタキストスコープで、 $10^\circ \times 15^\circ$  の大きさで、提示時間が50、70、90、 $120\text{ms}$  で、 $\text{ISI} = 4.5\text{sec}$  で16枚の絵を提示し再認実験を行つた。絵の提示前後はランダムパターンが常に提示された。このときの再認率は、提示時間が  $70\text{ms}$  で68%の再認が可能であつた。これらの結果は、予期できるときもできないときもごく短時間で絵を同定できるがその記憶はその後数百ミリ秒間干渉されやすいことを示唆している。彼女は、これらの成績と Potter と Levy (1969) のデータとを比較検討することにより、“約  $100\text{ms}$  の提示で絵は同定できるが、記憶されるには約  $300\text{ms}$  の時間が必要であらう”と結論した。

Biederman ら (1974) は風景写真を単独に短



時間提示したとき、風景内容を記述している言葉を正しく選択できる割合をしらべた。選択肢がたとえ「shopping plaza」と「kitchen」のように似ていないとき、100ms 提示（写真提示後マスクパターンが提示された。）でほぼ90%の正解が得られた。しかし、「shopping plaza」と「busy road and store」のように選択肢が似ているとき、100ms の提示で70%であり、300ms の提示で85%の正解が得られた。

10。

これらの結果を総合すれば、絵を単独提示もしくは十分長い I, S, I で継時提示したとき、100 ~ 300ms の提示時間でその内容が把握できるが、I, S, I が短かくなるとそれらが記憶されないということになる。しかし、これらの研究では用いられた刺激の詳細が不明であるばかりでなく被験者がどのような内容をどの程度記憶していたのかが明らかではない。しかも Loftus (1972) や Potter (1976) では多くの絵が提示された後に再認テストが行

なわれているために、直後での記憶されていたのかどうかといった疑問が残る。そこで我々の単純な線画を用いて、これらの問題点に関して検討を行なった。

## 2. 実験方法

装置 テレビミキシングシステムを用いた。基本的には § 4-2 で説明したものと同一である。1台のカメラでマスクパターンを撮影し、もう1台のカメラで線画を撮影した。これらを電子シャッターとテレビミキシングシステムを用いて合成した。すなわち線画提示以外の時は常にノイズマスクが提示されており、線画はその中央に  $30 \times 50^\circ$  の大きさで提示された。

刺激 談話の意味理解に必要な部分構造を表現する最も単純な絵になるように描かれた4コマの線画を用いた(図89)。4コマから構成される続き絵は、起承転結の形をとっている。ほとんどの続き絵は登場人物が一人

だけ含まれていて正しい順序であれば、事象もしくは行為が時間的に進むように描かれている。各々の絵には、文字や記号が含まれていない。これらの線画は、事象あるいは行為が時間的に進行する条件下で描かれているが、それらの不連続で仮現運動が生じないように配慮されている。続き絵は最初50組用意された。予備実験でこれらを4コマ同時に3秒間提示し、事象もしくは行為が正確に理解されるかどうかを検討し、最終的に30組が選ばれた。

手続き 被験者は本実験では使用しない続き絵には、20試行の練習を行なった。各試行ではまず300msのスタート信号（クリック音）の後、500msおいて4コマの続き絵が同じ位置に種々のISIで提示された。提示順序は2種類あり、一つは首尾一貫した談話を構成するように時間的に流れに沿って提示するもの（1→2→3→4）もう一つは、一部が時間的に逆転しているもの（1→2→4

→ 3、または  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4$  ) である。このとき、被験者に前者の場合 "YES"、後者の場合 "NO" と答えさせた。わからないときは推測させた。マスクパターンは Letraset No.

416 Screen Tone を用いた。

実験 1 (文脈理解に及ぼす提示時間の効果)

線画提示の ISI を  $300\text{ms}$  に固定し、一枚の線画の提示時間を  $83\text{ms}$  と  $150\text{ms}$  の 2 種類にして、正答率をしらべた。各条件について 10 試行を行った。

実験 2 (文脈理解に及ぼす ISI の効果)

16 名の被験者を 2 グループに分けて実験を行った。第 1 グループ (B1) では提示時間を  $150\text{ms}$  に固定し、ISI を  $50\text{ms}$ 、 $133\text{ms}$ 、

$300\text{ms}$  と変化させた。一方、第 2 グループ (B2) では提示時間を  $150\text{ms}$  に固定し、ISI を  $100\text{ms}$ 、 $217\text{ms}$ 、 $300\text{ms}$  と変化させた。各 ISI について、10 試行を行った。

実験 3 (マスクの効果について) 提示時間を  $150\text{ms}$ 、ISI を  $133\text{ms}$  に固定し、ISI の

間、これまでと同様マスクを提示する条件と、線画とほぼ等しい輝度で何も提示しない条件とで比較を行った。各条件について、15試行を行った。

これからすべての実験で、各々の続き絵などの条件にも入るように被験者ごとに变化させた。

被験者 大学生32名。いずれの被験者も実験前に続き絵をみる機会があった。

### 3. 結果

まず推測確率を考慮し、正答率を Guilford 変換し、PCU (正しく理解できた割合) を求めた。すべての条件に対する PCU を表16に示す。提示時間が 83ms の条件と 150ms の条件では有意な差が見られた ( $\chi(12) = 5.32$ ,  $P < 0.01$ )。

一方、提示時間が 150ms で ISI が 300ms のとき、B1 と B2 ではほぼ等しい PCU が得ら

れたので ( $t(13) = 1.86$ ,  $P > 0.05$ ) 両グループのデータを平均した。その結果、ISI が  $133\text{ms}$ 、 $217\text{ms}$ 、 $300\text{ms}$  の間では有意な差が見られなかった。一方、ISI が  $50\text{ms}$  と  $100\text{ms}$  の間には有意な差が見られた ( $t(14) = 3.6$ ,  $P < 0.01$ )。ISI が  $100\text{ms}$  と  $133\text{ms}$  の間には有意な差はなかった ( $t(13) = 0.6$ ,  $P > 0.05$ ) が、ISI が  $100\text{ms}$  の方が PCU は低い値を示した。

また、すべての ISI に対して、1-2-4-3 という順に提示された場合と 1-3-2-4 という順に提示された場合の PCU はそれぞれ  $65.6\%$  と  $58.2\%$  で有意な差ではなかった。実験3ではマスク提示の条件と blank の条件では有意な差は見られなかった ( $t(14) = 0.26$ ,  $P > 0.05$ )。

#### 4. 考察

本実験の特徴は、

- (1) これまでのように検出実験や再認実験とい

う手続きをとらずに継時処理可能な時間条件をしらべたこと。おまが

(2) 線画を用いてしかも主として1人の人物の行為の理解という点にしばらく行なうこと。

が挙げられる。従来の手続きで何ぞ記憶していたのか、Loftus と Bell (1975) の言葉で言えば general information か specific detail かも明らかでない。さらに一般に再認実験で Potter (1976) の実験のように多くの写真が継時提示されるが、むしろ我々の小数の刺激を用いて前記の問題点を明らかにしたいと考えたのである。

実験1から、提示時間が150msでPCUが71%であることが明らかにされた。一方、実験3からマスクがない場合でもPCUがこれ以上増加しないことが予想される。既に述べた

Biedermanら(1974)の結果は、150ms単独提示で選択肢が dissimilar の場合、約90% (補正すれば80%)、選択肢が similar の場合75% (補正す

れば50%)であり、我々の結果はこの中間の値をとっている。一方、実験1で、83msの提示時間ではPCUが非常に低い値を示した。これらの事実には提示後の100ms間に外界の情報処理しているが、その後処理が急速に低下するか停止するという Loftus (1972) や Sperling (1971) の結果を支持している。

一方、実験2から提示時間が十分であることもISIが100~100ms以上必要であることが明らかにされた。しかも実験3からマスクの効果がなく、このISIは特徴抽出過程においては「dead time」であることが示された。

なぜ継時処理の場合ISIが必要なのだろうか。まず線画と線画間のマスク効果を考えてみよう。一般にマスクングは特徴抽出の妨害効果であると考えられている。しかしながら、本実験の場合、150msという十分な提示時間が与えられているので、通常はマスク効果が働いたとは考えにくい。むしろ、本実験の結果は、短期記憶における干渉の仮説（



Potter, 1976)と矛盾しない。また、各々の絵の情報も固定化するにはさらに本実験で得られた ISI より長い時間が必要であると考えられる。

処理速度は PCU が最初に最高のレベルに達する SOA で定義される (たとえば Eriksen & Eriksen, 1971)。本実験から、継時提示される線画の順序の理解の場合、処理速度はおよそ 280ms であることが明らかにされた。この速度は一般に見られる眼球運動の固視時間に一致している。これらの関係については今後さらに検討すべきであろう。

## § 4-7. 視覚記憶の基礎過程 (I) パターン情報の獲得過程について<sup>1</sup>

図形の複雑さには二つの変数がある。一つは量的変数であり、もう一つは構造変数である。量的変数には点の数、角の数、面積などが考えられる。構造変数で最も重要なのは図形の対称性である。本実験では chipman (1977) の方法によつて図形の複雑さを規定する量を測定し、それに基づいて複雑さの異なる図形群を作成した。そして、それらの図形の再生課題を行なうことにより、視覚記憶への獲得速度が複雑さによつていかに変化するかをしらべた。

### 1. はじめに

言語の短期記憶あるいは感覚情報の一時的貯蔵である Iconic Memory と区別されて視覚短期記憶 (Short-Term Visual Memory 以後 STVM と呼ぶ) の存在が確かめられてきた (Posner ら、1969

(脚注1) 乾敏郎 (1982) 参照。

； Dale, 1973 など）。視覚短期記憶の研究材料として、アルファベットの形がしばしば用いられたが、いわゆる文字照合課題の場合、名前の情報を形の情報から明確に区別することが困難である。そこで、純粹に形の情報のみの記憶をしらべるためにいくつかの材料が考えられた。Phillips と Baddeley (1971) はマトリクスパターン (MP) を、Blick (1969) は線分の長さを、Dale (1973) は点の位置を、Kirsner と Sang (1979) は文字の字体を用いた。それらの研究目的は STVM の持続時間と STVM を他の記憶から区別してその存在の証拠を出すことであつた。しかし、保持時間については、たとえば Posner ら (1969) の1.5秒から Phillips と Baddeley (1971) の3~9秒と一致した結果が得られなかった。これは材料のちがいもあるが、Paivio と Bleasdale (1974) も指摘するように再認実験の場合、学習したパターン (target) と妨害刺激 (distractor) のパターン類似性も大きく影響する。

一方、保持間隔中に行なう挿入課題によって保持率が影響を受けることが知られている。視覚記憶の場合は、視覚課題によってのみ選択的に干渉を受け、たとえば、数字の加算課題や逆算課題といった言語的課題では影響を受けないことが知られている (Mitchell, 1972; Ichikawa, 1979)。また挿入課題がないときは、視覚記憶の場合も言語記憶の場合と同様、記憶情報をリハーサルできることが知られており、この効果によって記憶の減衰が生じない (Nickerson, 1974; Mitchell, 1972) のみならず逆に増加することもある (Graefe & Watkins, 1980; Intraub, 1979)。

本研究は、MP を用い、その複雑さを変化させて、学習曲線および忘却曲線から、STVM の記憶様式をしらべる。特に、本研究では保持時間の絶対値よりもむしろ、パターンの複雑さによって学習曲線のパラメータおよび忘却率がどのように変化するかという点をしらべる。

## 2. 実験方法

被験者 大阪大学学生10名。

刺激  $n \times n$  マトリクス ( $n = 3, 4, 6$ ) のうち半分のセルをランダムに選ぶ黒く塗りつぶした図形を計算機で発生させ、そのうち縦、横とも最大中が  $n$  個すべての黒いセルが連続しているものをまず採用した。次に  $6 \times 6$ 、 $4 \times 4$  の MP をそれぞれ 10,000 個および 3,000 個の中から構造変数として、以下に述べる Chipman (1977) の H-V Symmetry 量 (HV-S) を量的変数として角の数 (NT) を計算し各マトリクスについて量的変数の値が高く、構造変数の値の低い図形 (H群) を 40 個、逆に、量的変数の値が低く、構造変数の値の高い図形 (L群) を 40 個選択した。3×3 のパターンは数が少ないので H群と L群に分けず 40 個をランダムに選択した (図 90)。Chipman (1977) によれば、NT は MP の角の総数である。また、HV-S は次のように定義している。まず、MP ( $n \times n$ ) の各々の行ごと横中  $m$  ( $2 \leq m$

$\leq n$ ) の部分パターンを取り出し、それが左右対称であるなら得点  $n$  を与える。このとき、1つの MP に対する得点の総和を H-S とする。また、各列に対しても H-S と同様の計算をしたものを V-S とする。このようにして求めた H-S と V-S の和が HV-S である。

次にこのようにして選択された H 群と L 群が、これらの物理量のみならず心理的複雑さについても明確な差が存在することを確かめた。被験者に  $4 \times 4$  の H 群の中から任意に 1 つ MP を選びその図形に対する複雑さを 100 とし、他のすべての MP ( $4 \times 4$  パターンが 80 個、および  $6 \times 6$  パターンが 80 個) に対する複雑さを評定させた。その結果得られた評定値を偏差値に修正し、5 名の被験者に対する平均の偏差値を求め、その値を各々の図形に対する複雑さの値とした。各々の群に属する図形の複雑さの平均値と標準偏差を表 17 に示す。この表から各々の MP において H 群と L 群に対する複雑さは完全に分離されてい

ることがわかった。

次に、上記の変数と複雑さの関係を吟味した。ところで Chipman (1979) は、上記の変数を 6×6 のパターンを用いて検討しているが、本実験では、マトリクスの大きさも変化させているため、HV-S がマトリクスの大きさによって変化しないよう、次のような正規化係数  $\alpha$  を乗じたものを HV-S とし、以後これを構造変数とした。

$$\alpha = \frac{n^2}{3} (n^2 + 3n + 1) \quad (1)$$

そして、各々の MP に対する平均の複雑さの値を従属変数に、HV-S および NT を独立変数として重回帰分析を行った。結果、

$$(\text{複雑さ}) = 26.47 - 0.49 \times (\text{HV-S}) + 0.87 \times (\text{NT}) \quad (2)$$

であることがわかった。このとき、重相関係数は 0.953 であつた。上記の回帰式は複雑さの最大値が NT で決定され、その値から対称性の度合 (HV-S) を減じたものであることを示している。

さて実験1ではこのようにして作成された  
 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$  L、 $6 \times 6$  Hの各  
 群の中からそれぞれ20個を選択し、刺激パタ  
 ーンとして使用した。各図形の変量の平均値  
 および標準偏差を表18に示す。また、マス  
 クパターンとして、その要素がMPのセルと  
 同じ大きさであるチェッカーボードパターン  
 を用いた。

手続き 3視野タキストスコープ(タキ  
 機器工業製DP型調光式タキストスコープNO.  
 232)を使用した。試行開始の合図の後、500  
 msたってMPが提示され、提示後ただちに  
 ( $ISI=0$ )、マスクパターンが提示された。  
 MPを構成する各セルは $0.36^\circ \times 0.36^\circ$ で、 $3$   
 $\times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$ のMPはそれぞれ $1.1^\circ$   
 $\times 1.1^\circ$ 、 $1.4^\circ \times 1.4^\circ$ 、 $2.2^\circ \times 2.2^\circ$ の大きさで提  
 示された。このとき被験者に、提示されるMP  
 と同一のマトリクスサイズである空白のマス  
 目を書かれた解答用紙にMPの黒の部分にチ  
 ェックさせた。第1グループの被験者6名に



対する MP の提示時間は  $3 \times 3$  の場合、 $0.1s$ 、 $0.28s$  の 2 種類、 $4 \times 4 L$  の場合、 $0.1s$ 、 $0.28s$ 、 $0.4s$  の 3 種類、 $4 \times 4 H$  の場合、 $0.1s$ 、 $0.28s$ 、 $0.56s$ 、 $1.12s$  の 4 種類、 $6 \times 6 L$  の場合、 $1.12s$ 、 $2.4s$ 、 $4.8s$ 、 $15s$  の 4 種類、 $6 \times 6 H$  の場合、 $8.96s$ 、 $15s$ 、 $30s$  の 3 種類であった。これらの条件をランダムな順に 7 試行ずつ実施させた。一方、第 2 グループの被験者 4 名に対しては  $6 \times 6 H$  (および  $7 \times 7$ 、 $8 \times 8^2$ ) の MP に対して  $1.12s$ 、 $2.24s$ 、 $4.48s$ 、 $8.96s$  の 4 種類の提示条件で行われた。

### 3. 結果

結果を図 91 および 92 に示す。 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4 L$ 、 $4 \times 4 H$  とともに再生率は提示時間の有意な効果が見られた。 $(3 \times 3, F(2, 15) = 9.3, P < 0.05; 4 \times 4 L, F(2, 12) = 8.63, P < 0.05; 4 \times 4 H, F(4, 25) = 4.18, P < 0.01)$ 。 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4 L$  の MP は瞬間視 (提示時間

(脚注 1)  $7 \times 7$ 、 $8 \times 8$  の MP に対しては詳しく複雑さの検討は行われていない。 $7 \times 7$  の NT は  $41.3 \pm 2.4^\circ$ 、 $8 \times 8$  の NT は  $53.4 \pm 3.5^\circ$  であった。

$0.88$ )で90%以上の再生率が得られた。しかし4×4Hの場合 $0.88$ 以上の提示では有意な上昇は見られず( $F(2,16) = 2.29, P > 0.05$ )、 $0.48$ の提示でも再生率は $0.85$ であった。一方、6×6H、7×7、8×8のMPに対しては提示時間を95msで増加しても再生率に変化は見られなかった。また6×6Lの場合、提示時間 $0.48$ msで平均の再生率はわずかながら上昇傾向にあったが、有意ではなかった( $F(2,20) = 0.56, P > 0.05$ )。これらの結果を総合すれば、瞬間視で記憶可能な容量は4×4Lと4×4Hの間に存在することになる。また、複雑なパターンの場合短かい提示時間では再生率が上昇しない相が存在した。特に6×6H以上の複雑なMPの場合提示時間が95msで再生率の増加はみられなかった。

#### 4. 積分曲線による回帰と学習速度

本実験で得られた再生率に対して、積分曲線をあてはめ、提示時間と再生率の関係につ

いて考察する。まず各々の再生率  $P$  に対して

$$P = P_0 + (1 - P_0)(1 - \exp(-A(t - t_0))) \quad (3)$$

をあてはめる。ここに  $P_0$ ,  $A$ ,  $t_0$  は定数である。この曲線は  $P_0$  に無関係に学習速度が決まる。すなわち学習速度を「任意の提示時間  $t$  における接線が再生率  $1$  ( $P = 1$  すなわち完全再生) に達する時間を  $t_f$  とし  $(t_f - t)$  の逆数」で定義すれば、

$$\frac{1}{t_f - t} = A \quad (4)$$

となる。すなわち学習速度は  $A$  で定義される。3×3、4×4 および 6×6 は 0.1s を基準に、6×6H は 0.9s を基準にして上記の積分曲線をあてはめ、学習速度  $A$  を計算した。4×4H は再生率が (上記の提示時間では) 100% に達しなかったため、回帰しなかった。結果を表19に示す。6×6H の MP に対する学習速度は後述するモデルのパラメータの値に使用する。

## §4-8. 視覚記憶の基礎過程(Ⅱ)忘却率の測定および情報獲得のモデル<sup>1</sup>

本節では MP 提示後、挿入課題を被験者に課したとき再生率がいかに変化するかをしらべる。併せて、前節で述べた情報獲得(学習)のモデルを提案する。

### 1. 実験方法

刺激 前節で述べたものと同じ。

手続き スタート合図の 500ms 後、MP が提示された。MP 提示後乱数表が提示された。このとき被験者の乱数表提示中の指定された行を左からできるだけ速く声を出して読むことに注意を集中するよう教示された。乱数表が消えると被験者はただちに手元の解答用紙のマス目に提示された MP の黒の部分をチェックした。第 1 群の被験者 6 名に対しては、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $4 \times 4$  の MP が用いられ、それぞれの提示時間はそれぞれ 0.3s、

(脚注 1) 乾 敏郎(1982) 参照。

0.3s、1.0s であり、1. 第2群の被験者16名に対しては、 $6 \times 6L$ 、 $6 \times 6H$  のMPが用いられ、それらの提示時間のそれぞれ20s、50s であり、1. 第3群の被験者6名に対しては、 $4 \times 4L$ 、 $4 \times 4H$ 、 $6 \times 6L$ 、 $6 \times 6H$  のMPが用いられ、それらの提示時間のそれぞれ0.1s、0.1s、2.5s、2.5s であり、1. 保持時間は第1群では0.5s、2s、4s、6s、第2群では0.5s、1.5s、3.0s、4.5s、第3群では0.5s、1s、2s、4s であり、1. いずれの群も各々の保持時間に対して6試行を行行、1.

被験者 大学生28名。

## 2. 結果

第1群の結果を図93に示す。直後(0.5s後)再生率の前節の結果と一致した。またいずれのMPに対しても忘却が見られた。忘却率は $4 \times 4L$ 、 $4 \times 4H$  で大きな差が見られなかった。つぎに第2群の結果を表20に示す。表から明らかになるように $6 \times 6L$ 、 $6 \times 6H$  いずれの

MP に対しても全く忘却は生じなかった。第3群の結果を表21および22に示す。挿入課題(IT)のあるなしにかかわらず忘却はなかった。

### 3. 考察

Wickelgren (1974) は、言語学習の忘却率から短期記憶と長期記憶という2つの異なる特性を持つ記憶の存在を見い出し、それぞれ忘却が exponential function ( $\alpha e^{-\beta t}$ )、exponential power function ( $\alpha e^{-\beta t^{1-\lambda}}$ ,  $\beta = \frac{\pi}{\mu(1-\lambda)}$ ) に従うと報告している。3×3、4×4 のマトリクスパターンに対しては、瞬間視状態で90%以上の再生率が得られたことから、3×3、4×4 のマトリクスパターンは短期記憶の容量内で処理されたものと考えられる。この結果は、Ichikawa (1982) と一致する。また、3×3、4×4 のマトリクスパターンは視覚的挿入課題がある場合、忘却を示したことも、これからが短期記憶に貯蔵されていたことを示唆している。一方、6×6 パターンの学

習曲線は2つの相から構成されていた。すなわち、提示時間が10s以内では再生率がほぼ一定であり、提示時間が10sを越えて初めて学習が進行した(前節)。しかも学習速度は、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$  パターンよりもかなり小さいものであつた。また、い、 $1 \times 1$  学習されたパターンは、短期間では忘却されるが、 $1 \times 1$  からの事実、少なくとも、 $6 \times 6$  パターンの記憶は長期視覚記憶に貯えられていたことを示唆している。短時間提示による忘却実験の結果は、断片的ではあるが短時間で把握されたおおまかな情報は、忘却されにくいことを示している。

#### 4. 視覚短期記憶のモデル

Loftus (1972)、Inui (1981) によると視覚情報獲得プログラムは、処理サイクルの最初の100msで急速に低下し、その後の時間には情報を獲得できず、約0.5s後に再び情報処理が開始されるらしい。すなわち、外界の情報はたえず STVM に貯蔵されるのではなく、約

の  $d_s$  という処理サイクルで貯蔵されるらしい。1回の処理サイクル (processing cycle) を STVM に貯蔵される情報の割合が

$$P(t) = d_s(1 - e^{-t/\tau_{ds}}) \quad (5)$$

に従うものとする。また、獲得された情報は、その後リハーサルをしなければ

$$P(t) = d_s e^{-t/\tau_{ds}} \quad (6)$$

で忘却するものと仮定する。複雑なパターンは、いくつかの部分パターンに分節 (segmentation) され、独立したチャネルとして処理されるものとする。各チャネルは、継時的に強化されていくものとする。今、処理サイクルの周期を  $T(\text{sec})$ 、チャネルの数を  $n$  とすれば、それぞれのチャネルは  $nT(\text{sec})$  の周期で強化されることになる。  $m$  回強化後のチャネルの強さ  $P_i(m)$  は

$$P_i(m) = d_s + d_s e^{-nT/\tau_{ds}} + \dots + d_s e^{-(m-1)nT/\tau_{ds}} \quad (7)$$



$$\begin{aligned}
 &= \alpha_s \frac{1 - e^{-mnT/\tau_{ds}}}{1 - e^{-T/\tau_{ds}}} \\
 &= \beta (1 - e^{-mnT/\tau_{ds}}) \quad (8)
 \end{aligned}$$

ここに  $\beta = \frac{\alpha_s}{1 - \exp(-nT/\tau_{ds})}$  である。すなわち関数の形は上記式(5)で示した1回ご処理される割合と同一である。

今、 $knT = \tau$  とすれば STVM に貯蔵されている MP 全体に対する情報の割合  $P_{ss}$  は

$$\begin{aligned}
 P_{ss} &= \frac{1}{n} \sum P_{si}(k) \times e^{-(n-i)T/\tau_{ds}} \\
 &= \frac{\alpha_s (1 - e^{-knT/\tau_{ds}})}{n (1 - e^{-T/\tau_{ds}})} \quad (9)
 \end{aligned}$$

となる。

## 5. 視覚長期記憶への獲得過程のモデル

視覚情報は STVM に入力されると同時に視覚長期記憶 LTVM へも入力されると仮定する。しかも、各々のパラメータ値が異なるだけであり、獲得および忘却の様式は STVM と全く同一であると考える。すなわち、1回の

処理サイクルで LTVM に貯蔵される情報の割合は

$$P(t) = \gamma (1 - e^{-t/\tau_{dL}}) \quad (10)$$

に従い、その後

$$P(t) = \gamma \cdot e^{-t/\tau_{dL}} \quad (11)$$

で忘却するものと仮定する。

今、 $k n T = \tau$  とすれば、LTVM に貯蔵されている MP 全体に対する情報の割合  $P_{SL}$  は

$$\begin{aligned} P_{SL} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Li}(k) \times e^{-(n-i)T/\tau_{dL}} \\ &= \frac{\alpha_L (1 - e^{-knT/\tau_{dL}})}{n \cdot (1 - e^{-T/\tau_{dL}})} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

## 6. モデルの検討

再生率は長期記憶に貯えられている情報の割合と短期記憶に貯えられている情報の割合のうち高い方が決まると仮定する。さらに直後再生があっても、書いているうちに忘れる

という要因(市川、1982)を考慮する。すなわち書き始めたときの貯蔵されている情報の割合  $P_S$  と再生率  $C$  との関係は

$$C = \max \left\{ P_{SS} \cdot e^{-W/\tau_{ds}}, P_{SL} \cdot e^{-W/\tau_{dL}} \right\} \quad (13)$$

で与えられるものとする。 $W$  は MP を書き終わるまでの時間を  $W'$  とし

$$W = W'/2 \quad (14)$$

で与えられるものとする。

つぎに、パラメータを推定しよう。まず  $P_{SL}$  の値は  $n \rightarrow \infty$  のとき 1 に収束するはずなので

$$\frac{dL}{n(1 - e^{-T/\tau_{dL}})} = 1 \quad (15)$$

で与えられるらしい。このとき  $P_{SL}$  は、

$$P_{SL} = 1 - e^{-k n T / \tau_{dL}} \quad (16)$$

である。一方、節々において積分曲線をあてはめ、学習速度  $A$  を求めた。 $6 \times 6 H$  の場

合学習速度  $A$  が  $T_{dL}$  に等しいはずである。したがって

$$T_{dL} = A \quad (\text{for } 6 \times 6 H) \quad (17)$$

である。つぎに記憶する際の部分分割数  $n$  はつぎのよう<sup>10</sup>な実験によって推定した。すなわち7名の被験者に使用したMPのコピーを渡し、「これらのパターンを記憶するとき、どのような部分に分けて覚えられますか。いくつに分割しても結構です。もしそのよう覚えられれば分けなくてもよろしい」と教示した。各被験者とも、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4L$ 、 $4 \times 4H$ 、 $6 \times 6L$ 、 $6 \times 6H$ のMP、各々13個、18個、19個、19個、14個に対して分割させた。その結果を表23に示す。 $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$ のMP共、 $H$ が $L$ の1.5倍<sup>11</sup>である。こ<sup>12</sup>れは、本節の方法で述べた複雑<sup>13</sup>の比にほぼ等しい。すなわち、被験者に評定された複雑さ<sup>14</sup>は  $4 \times 4H$  が  $4 \times 4L$  の1.4倍、 $6 \times 6H$  が  $6 \times 6L$  の1.3倍である。そこで上記の  $n$  の値を  $4 \times 4H$  の場合2.68、 $6 \times 6H$  の場合

(脚注)

一方、 $6 \times 6L$  と  $6 \times 6H$  のMPに対して Chase & Simon (1973) の方法を用いてチャークの数を推定した。その方法は、cellの再生時間間隔 (IRI) が2秒以上のとき、別チャークからの再生であると仮定して2秒以上のIRIが何回あったかを測定するものである。このようにして第2実験の際に被験者10名に対して4種類の保持時間で実験を行った。その結果を表24

合 4.34 とした。

シミュレーションの結果を図94に示す。パラメータの値は

$$T = 0.28 \text{ (sec)}, \quad \tau_{ds} = 2.0 \text{ (sec)}$$

$$\tau_{dL} = 32 \text{ (sec)}, \quad \alpha_s = 0.9$$

$$\alpha_L = 0.04$$

また  $W$  の値は予備データより

$$W = \begin{cases} 2.5 & \text{for } 4 \times 4H \\ 5.0 & \text{for } 6 \times 6H \end{cases} \quad (18)$$

とした。本モデルは、得られたデータとよく一致しており、 $4 \times 4H$  の再生率は、約87%で一定となっている。すなわち、これまでの記憶モデルと異なり、STMの容量は初めに仮定していないが、うまくデータと一致しているのである。その他、モデルとデータの比較を表25に示しておく。

また言語記憶の場合には LTM の忘却率は STM の  $1/30$  (Kintsch & Polson, 1979)、 $1/10 \sim 1/50$  (Wickelgren, 1972) と考えられているが、本モデルでは視覚長期記憶の忘却率は視覚短期記

に示す。 $6 \times 6H$  の MP の平均チャंक数は、2.8、 $6 \times 6L$  の MP の平均チャंक数は 2.5 である。通常  $4 \times 4$ 、 $3 \times 3$  などはほとんど2秒以上の IRI は見られない。したがってむしろ、上記の分割数でものを決める方がよいと思われる。ではこのチャंक数とは何か。Attneave と Curlee (1983) は、同時に思い浮かべられる(イメージ化できる)限界は  $3 \times 3$  と  $4 \times 4$  の間にあると述べている。これは本節で述べた

憶の $\frac{1}{6}$ と仮定されている。また視覚短期記憶  
 の忘却率(時定数)  $T_{ds}$  は 2 (sec) と仮定した  
 がこの値は他の研究とよく一致している。す  
 りやち、Oyama ら (1981) は点の計数課題か  
 らおよそ 2 sec と推定している。また乾と鈴  
 木 (1976) は文字報告課題から 1.6 sec、乾と  
 尾入 (1983) は数字の順序の逆転を検出する  
 課題から 1.9 sec と推定している。

---

STVMの容量と密接に関係していると考えられる。同時に思いうかべられる容量  
 によって  $6 \times 6 (= 36)$  が分割されて継時的に思い出されると考えてみよう。36個  
 を上記のチェック数 25 ~ 28 が割ってみると 13 ~ 14 となり、ちょうど  $3 \times 3$   
 と  $4 \times 4$  の中間に入る。

## § 4-9. 視覚記憶の基礎過程(Ⅲ)再認法 による獲得および忘却過程の 検討<sup>1</sup>

前節までは再生法によって視覚記憶の特性をしらべてきた。しかしながら一般に視覚記憶の研究は再認法によるものが多く、また再生法と再認法によって異なる結果が得られることもある。本節では再認法によって前節までに得られた特性を再吟味する。

### 1. 実験方法

#### 1-1. 第1実験

##### 刺激および装置

3×3、4×4H、4×4L、6×6H、6×6Lの各々40パターンずつ計200個のMPを用意し、この5種類のMP各々についてISIが0.5s、1s、2s、4sの4種の条件に対し、それぞれ10個ずつ使用した。1つのセルが0.95°、すなわち各MPの大きさは、3×3が8.9°×8.9°、4×4が11.8°×11.8°、

(脚注1) 乾 敏郎(1981)参照。

6×6が5.7°×5.7°で、モータスコープ上に PDP-12 の制御下で提示された。1つのセルはドット間隔の1.0°の7×7=49個の輝点からなり、という。提示時間は20ミ秒、100ミ秒、500ミ秒、2.5秒の4種、ISI (Inter Stimulus Interval)は500ミ秒、1秒、2秒、4秒の4種類であり、た。この時間計測は PDP-12 に付属する実時間クロックを用い、結果は Teletype で Same or Different, Yes or No, 確信度 1, 2, 3, Hit or False alarm を打ち出すようにした。

手続き 被験者がスタートスイッチを入  
れるとモータに「START」の文字が1.5秒間  
表示される。0.5秒の空白ののち第一刺激(  
S<sub>1</sub>)が提示され、その後第二刺激(S<sub>2</sub>)が提  
示されるまでの ISIの間ラミダムの2桁の数  
字が提示され、次に S<sub>2</sub> が3秒間提示される。  
S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, 2桁の数字はすべて同じ位置に提  
示された。ここに被験者は S<sub>2</sub> と S<sub>1</sub> が同じ  
パターンであ、たか否かを判断して、同じパ



ターンであると判断すれば Yes, 違うと判断すれば No のスイッチを押す。次にその確信度を絶対に確信があるとき 1, 少し確信があるときは 2, ほとんど確信がないときは 3 の 3 段階で入力する。

次にスタートスイッチを入けると次のパターンでの試行が始まる。この操作を 10 試行 1 セッションとして 8 セッション繰り返す。ここで  $S_2$  は  $S_1$  と同じパターン (Same) 又は 1 つ所違うパターン (Different) のいずれかを 0.5 の確率で提示した。  $S_1$  提示と  $S_2$  提示の間の時間はランダムな 2 桁の数字が 1 秒間に 1 個のスピードで提示された。1 セッション 10 試行は同じ複雑さの MP を使い、一定の ISI で行われた。ただし実験は 8 セッションから構成され、その内容はまず  $4 \times 4$  の MP で 8 セッション次に  $3 \times 3$  のパターンで 4 セッション、  $6 \times 6$  のパターンで 16 セッションという順序で行われた。マトリックスサイズが変わるときは本試行の前に 10 回の練習試

行を行なった。ここで、例えば $4 \times 4$ のパターン8セッションの試行順序は被験者ごとに变化させた。

被験者 学生24人<sup>(ET)</sup>を8人ずつ3群に分けた。第一群は提示時間0.5s、第二群はET 0.1s、第三群は $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ のMPについてET 0.02s、 $6 \times 6$ のMPについてはET 0.5秒で実験を行なった。

## 1-2 第2実験

刺激および手続き 第1実験と以下の点異なる。すなわち、まず第1刺激( $S_1$ )と第2刺激( $S_2$ )が約 $20^\circ$ 横に離れた位置に提示された点である。第2に挿入課題を再生実験と同一にした点である。第1実験に比べて数字がかなり小さくなり見にくくなり、たことである。 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $4 \times 4$ のMPが第1刺激として各々40個用いられた。各セルの大きさは $0.36^\circ$ 、 $4 \times 4$ の場合 $1.4^\circ \times 1.4^\circ$ であった。提示時間の直後再認が80%以上になるように設定された。すなわち $3 \times 3$ および

$4 \times 4L$  の MP に対しては  $0.2s$ 、 $4 \times 4H$  の MP に対しては  $0.9s$  であった。

一文字  $6'$  の大きさで乱数列を提示し、これをできるだけ速く読み上げさせた。また、挿入課題をしているとき、MP を思い出さないうように教示した。保持時間の  $0.5s$ 、 $2s$ 、 $4s$ 、 $6s$  の 4 種類であり、保持時間終了とともに乱数列は消え、第 2 刺激が提示された (図 95)。提示位置は被験者の前方に 3 面スクリーンがあり右から第 1 刺激、乱数列、第 2 刺激と順に提示された。被験者には第 1 刺激と第 2 刺激が同一であるかどうかを判断させ、あわせて確信度も 3 段階で評定させた。

distractor は、第 1 刺激のマトリクスパターンの 1 つのセルが加わるか、除かれたものである。また別の被験者群 (被験者 6 名) に対しては  $6 \times 6L$  および  $6 \times 6H$  の MP に対して提示時間と直後再認率 ( $ISI = 0.5s$ ) の関係をしらべた。提示時間は  $6 \times 6L$  の MP に対しては  $1.2s$ 、 $2.4s$ 、 $4.8s$ 、 $6 \times 6H$  の MP に

対しては 2.4 秒、4.8 秒、8.96 秒であり、 $T=$ 。

被験者 大学生 15 名。

## 2. 結果

第 1 および第 2 実験における提示時間と直後再認率 ( $ISI = 0.5s$ ) の関係を表 26 および 27 に示す。第 1 実験の結果は再生率 (54-7) と同様、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4H$  において提示時間の有意な効果が見られた ( $3 \times 3$ ,  $F(2,21) = 3.47$ ,  $P < 0.05$ ;  $4 \times 4H$ ,  $F(2,21) = 6.63$ ,  $P < 0.01$ )。一方、 $6 \times 6L$ 、 $6 \times 6H$  においては有意な効果は見られなかった。 ( $6 \times 6L$ ,  $F(2,21) = 1.485$ ,  $P > 0.05$ ;  $6 \times 6H$ ,  $F(2,21) = 2.381$ ,  $P > 0.05$ )。また、第 2 実験からも、かなり提示時間を長くしても再認率に上昇しなかった。第 1 実験において「マトリクスサイズ」によって再認率に差が見られた ( $4 \times 4$  v.s.  $6 \times 6$ ) が、複雑さによる差は見られなかった ( $L$  v.s.  $H$ )。本実験の再認率と前節で述べた再生率にはほぼ一致している。Christie と Phillips (1979) の MP の再生実験および Phillips と Christie (1977) の再認

実験を比較すると、やはり再生率と再認率に大差ないようである。おそらく distractor がきわめてテスト刺激に近いためであろう。

第2実験(忘却過程)においては直後再認率に  $4 \times 4L$  が  $0.80 \pm 0.11$ 、 $4 \times 4H$  が  $0.83 \pm 0.12$  であった。これは、同じ提示時間で得られる再生率とほぼ同じ値である(§4-7参照)。つぎに、保持時間と再認率の関係を図96に示す。図から明らかになるように、 $4 \times 4H$ 、 $4 \times 4L$  はほぼ同じ忘却率を示した。この結果は他の実験においても確かめられた。

最後に §4-8 から10までの結論を要約しておく。

1. 瞬間視(提示時間0.35以内)での再生率は、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4L$  の MP に対して、90%以上であり、再認率(異なる位置に提示、 $ISI = 0.55$ )は  $3 \times 3$  が90%以上、 $4 \times 4L$  は約80%であった。一方、 $4 \times 4H$  の MP に対しては再生率の上昇は見られず、1秒の提示時間でも85%、再認率に83%で

あった。したがって視覚短期記憶 (STVM) の容量は  $4 \times 4L$  と  $4 \times 4H$  の間に存在する。

2.  $6 \times 6H$ 、 $7 \times 7$ 、 $8 \times 8$  の MP に対しては約 9 秒の提示時間まで再生率の上昇は見られず、 $6 \times 6H$  に対しては再認率にも同様の傾向が見られた。

3. 上記のように獲得過程において  $4 \times 4L$ 、 $4 \times 4H$  の差は見られたが、忘却率にはこのような複雑さ (パターン構造) による差は再生、再認とも見られなかった。

4.  $L$  (low-complexity) と  $H$  (high-complexity) に対する評定された複雑さの比と分割数の比に近い値を示した。

5. これらのデータを説明可能なモデルが提案された。モデルから、STVM の忘却率 (時定数) は 2 秒、LTVM のそれは 32 秒と推定された。

## § 4-10. 第4章の要約および考察

大きさが視角で  $10^\circ$  を越えるような比較的大きなパターンを長い時間観察するような条件下では、眼球運動による走査を通してパターンが認識される。ここで2つの問題が生ずる。その一つはどれくらいの範囲から情報を獲得しているのかという問題である。もう一つは、獲得された情報がいかに統合されるのかという問題である。これらの問題は非常に複雑で簡単に答えられそうにないので以下の様に問題をしぼった。

- (1) 視覚課題を遂行するのに必要の視野の広さ。
- (2) 情報獲得のサイクル。
- (3) 一回の固視(通常  $280\text{ms}$ ) で記憶できる情報量。
- (4) 比較的長い時間での視覚短期記憶の獲得過程。
- (5) 記憶情報の忘却過程。

結果を以下に要約する。

- (1) 顔を正確に同定するには、全体の $\frac{1}{2}$ 以上を同時に処理する必要がある。
- (2) 顔の全体的イメージを内的に構成するためには全体の約半分を同時に処理する必要がある。これは(1)の約2倍である。
- (3) 線分全体を同時に処理しないと正常な長さの知覚は生じない。
- (4)  $150\text{ms}$ の提示で線画の内容は把握されるが、継時入力される線画を処理し、記憶するためには最低 $280\text{ms}$ のSOAが必要である。すなわち、通常みられる固視時間に等しいサイクルで処理する必要がある。
- (5) 一回の固視で記憶できる限界はかなり小さく、マトリクスパターンの場合、 $4 \times 4\text{L}$ と $4 \times 4\text{H}$ の間である。
- (6) 獲得速度はパターンの複雑さ(L vs H)に依存するが、一度記憶されたパターンの忘却率は複雑さによらない。
- (7) (4) ~ (6)を考慮した、獲得-忘却過程のモデルを提案した。モデルでSTVMの忘却時定



数を2秒としたとき、データもうまく予測できた。

最後に、一般的にどのくらいの範囲から視覚情報を獲得しているのかサッケードの大きさから推定しておこう。一般に99%のサッケードは $15^\circ$ より小さいと言われている (Lancaster, 1941)。読書の場合のサッケードは、8~9文字(およそ $2^\circ$ )である (Rayner, 1978)。しかし、日本文の読書では3~4文字(2~ $3^\circ$ )である (Ikeda & Saida, 1978)。Antes (1974)によれば、約 $20^\circ$ の大きさの絵を見る時の平均サッケードは $3.4^\circ$ である。Saida & Ikeda (1979)は $14.4^\circ \times 18.8^\circ$ の絵を記憶するときのサッケードは2~ $4^\circ$ の場合が最も多く見られたことを報告した。一方、Ford ら (1959)は、直径 $30^\circ$ の視野において $0.3^\circ$ の大きさでしかも閾値付近の明るさをもつスポットがあるかどうかを判断させる実験を行った。その結果、スポットがなかった場合、すなわち一様な視野の中での探索サッケードは、3~ $8^\circ$

の大きさが最も多くみられた。そこで私たちの日常生活におけるサッケードの分布はどうであろうかという素朴な疑問が生ずる。この点に関して、Bahillら(1975)は3人の被験者がカリフォルニア大学の構内を散歩したときのサッケードの分布をしらべた。その結果86%のサッケードが $15^{\circ}$ より小さいことがわかった。また興味深いことは、やはり $3^{\circ}$ 程度のサッケードが最も多いことである。一般にサッケードの大きさは課題の内容と対象の物理的屬性に依存しているが、通常は $3^{\circ}$ ～ $6^{\circ}$ のサッケードが最も頻繁に起こる傾向がある。しかし、日本文の読書の場合には、 $2^{\circ}$ ～ $3^{\circ}$ (3～4文字)のサッケードに対し、 $8^{\circ}$ (10文字)の視野が必要であり、英文の読書の場合には、 $2^{\circ}$ (2～3文字)のサッケードに対し右側 $4^{\circ}$ (12～15文字)の視野が必要である。一方、少なくとも大きさが $20^{\circ}$ 程度の絵であれば、最初の100mmで全体的な処理がなされて絵の要点(gist)がつかめる(Biederman, 1972)。

Loftus と Mackworth (1978) によれば、絵の中の informative object は、絵の提示後直ちに注視され、注視頻度も高く、注視時間も長かった。また、最初に informative object へ注意を向けるためのサックードの長さは  $7^{\circ}$  から  $8^{\circ}$  であつた。これは、informative object を周辺視でとらえていることを示している。これは、他の多くの研究によつても確かめられている (乾, 1981 参照)。以上を総合すると、大まかな情報は通常 (直径)  $20^{\circ}$  の範囲から獲得しているが、詳細な情報は  $6^{\circ}$  以内の範囲で処理していると考えられる。

## §4-11. 引用文献

- 1) Akin, O., & Chase, W.G. (1978) Quantification of three dimensional structures. *Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, 4 , 397-410.
- 2) Anderson, J.R. (1978) Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85 , 249-277.
- 3) Antes, J.R. (1974) The time course of picture viewing. *Journal of Experimental Psychology*, 103 , 62-70.
- 4) Antes, J.R. and Edwards, D.C. (1973) Information processing in the visual periphery. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1 , 351-353.
- 5) Antes, J.R. (1974) The time course of picture viewing. *Journal of Experimental Psychology*, 103 , 62-70.
- 6) Antes, J.R. (1977) Recognizing and localizing features in brief picture presentations. *Memory and Cognition*, 5 , 155-161.
- 7) Attneave, F., and Curlee, T.E. (1983) Locational representation in imagery : a moving spot task. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 9 , 20-30.
- 8) Bahill, A.T., Adler, D. and Stark, L. (1975) Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less. *Investigative Ophthalmology*, 14 , 468-469.
- 9) Bartram, D.J. (1978) Post-iconic visual storage : Chunking in the reproduction of briefly displayed visual patterns. *Cognitive Psychology*, 10 , 324-355.
- 10) Biederman, I. (1972) Perceiving real-world scenes. *Science*, 177 , 77-80.
- 11) Biederman, I., Glass, A.L. and Stacy, E.W., Jr. (1973) Searching for objects in real-world scenes. *Journal of Experimental Psychology*, 97 , 22-27.

- 12) Biederman, I., Glass, A.L. and Stacy, E.W., Jr. (1974) On the information extracted from a glance at a scene. Journal of Experimental Psychology, 103 , 567-600.
- 13) Biederman, I., Rabinowitz, J.C., Glass, A.L., & Stacy, E.W. (1974) On the information extracted from a glance at a scene. Journal of Experimental Psychology, 103 , 597-600.
- 14) Blick, I.I. (1969) Decision and decay processes in the short-term memory for length. Journal of Experimental Psychology, 82 , 224-230.
- 15) Bower, G. (1967) A multicomponent theory of the memory trace. In Spence, K.W. and Spence, J.T. (Eds.), The Psychology of Learning and Motivation. Academic Press.
- 16) Bower, G.H. & Glass, A.L. (1976) Structural units and the reditegrative power of picture fragments. Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory, 2 , 456-466.
- 17) Bradshaw, J.L., & Wallace, G (1971) Models for the processing and identification of faces. Perception & Psychophysics, 9 , 443-448.
- 18) Campbell, F.W. and Wurtz, R.H. (1978) Saccadic omission : Why we do not see a grey-out during a saccadic eye movement. Vision Research 18 , 1297-1303.
- 19) Carey, S., & Diamond, R. (1977) From piecemeal to configurational representation of faces. Science, 195 , 312-314.
- 20) Chaikin, J.D., Corbin, H.H. and Volkman, J. (1962) Mapping a field of short-time visual search. Science, 138 , 327-328.

- 21) Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973) The mind's eye in chess,  
In : W.G. Chase (Ed.), Visual Information Processing.  
Academic Press.
- 22) Chipman, S.F. (1977) Complexity and structure in visual  
patterns. Journal of Experimental Psychology : General,  
106 , 269-301.
- 23) Chipman, S.F. and Mendelson, M.J. (1979) Influence of six  
types of visual structure on complexity judgements in  
children and adults. Journal of Experimental Psychology :  
Human Perception and Performance, 55 , 365-378.
- 24) Christie, D.F.M., and Phillips, W.A. (1979) Simple drawing  
and pattern completion techniques for studying visualization  
and long-term visual knowledge. Memory and Cognition, 7 ,  
360-367.
- 25) Coltheart, M. (1980) Iconic memory and visible persistence.  
Perception & Psychophysics, 27 , 183-228.
- 26) Dale, H.C.A. (1973) Short-term memory for visual information.  
British Journal of Psychology, 64 , 1-8.
- 27) De Groot, A. (1966) Perception and memory versus thought :  
some old ideas and recent findings. In B. Kleinmuntz (Ed.),  
Problem Solving. New York : Wiley.
- 28) Dick, A.O. (1969) Relations between the sensory register  
and short-term storage in tachistoscopic recognition.  
Journal of Experimental Psychology, 82 , 279-284.
- 29) Di Lollo, V. (1978) On the spatio-temporal interactions  
of brief visual displays. In Day, R.H., & Stanley, G.V. (Eds.)  
Studies in perception. University of Western Australia  
Press.

- 30) Egan, D.E. and Schwartz, B.J. (1979) Chunking in recall of symbolic drawings. *Memory and Cognition*, 7 , 149-158.
- 31) Eriksen, C.W., & Eriksen, B.A. (1971) Visual perceptual processing rates and backward and forward masking. *Journal of Experimental Psychology*, 89 , 306-313.
- 32) Farley, A.M. (1976) A computer implementation of constructive visual imagery and perception. In Monty, R.A., & Senders, J.W. (Eds.) *Eye movements and psychological processes*. Lawrence Erlbaum Associates, 473-490.
- 33) Fechner C.T (1860) *Elemente der Psychophysik*, 265-290 ; Breitkopf und Härtel, Leipzig.
- 34) Frey, P.W. and Adelman, P. (1976) Recall memory for visually presented chess positions. *Memory and Cognition*, 4 , 541-547.
- 35) Ford, A., White, C.T. and Lichtenstein, M. (1959) Analysis of eye movements during free search. *Journal of the Optical Society of America*, 49 , 287-292.
- 36) Friedman, A. (1979) Framing pictures : The role of knowledge in automatized encoding and memory for gist. *Journal of Experimental Psychology : General*, 108 , 316-355.
- 37) Garner, W.R., and Clement, D.E. (1963) Goodness of pattern and pattern uncertainty. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 2 , 446-452.
- 38) Goldstein, A.G. and Mackenbergh, E. (1966) Recognition of human faces from isolated facial features : A developmental study. *Psychonomic Science*, 6 , 149-150.
- 39) Goodman, G.S. (1980) Picture memory : How the action schema affects retention. *Cognitive Psychology*, 12 , 473-495.



- 40) Gould, J. (1973) Eye movement during visual search and memory search. *Journal of Experimental Psychology*, 98 , 184-195.
- 41) Graefe, T.M., & Watkins, M.J. (1980) Picture rehearsal : An effect of selectively attending to pictures no longer in view. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 6 , 156-162.
- 42) Haith, M.M., Bergman, T., & Moore, M.J. (1977) Eye contact and face scanning in early infancy. *Science*, 198 , 853-855.
- 43) Haber, R.N. and Hershenson, M. (1973) *The Psychology of Visual Perception*. Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- 44) Harmon, L.D. (1973) Masking in visual recognition : Effects of two-dimensional filtered noise. *Science*, 181 , 1194-1197.
- 45) Hochberg, J. (1968) In the mind's eye. In Haber, R.N. (Ed.) *Contemporary theory and research in visual perception*. Holt, 309-331.
- 46) Hoffman, J.E. (1975) Hierarchical stages in the processing of visual information. *Perception and Psychophysics*, 18 , 348-354.
- 47) Ikeda, M. and Saida, S. (1978) Span of recognition in reading. *Vision Research*, 18 , 83-88.
- 48) Ikeda, M., Saida, S., & Sugiyama, T. (1977) Visual field size necessary for length comparison. *Perception & Psychophysics*, 22 , 165-170.
- 49) 池田光男、内川恵二 ( 1978 ) 分離絵素法によるパターン認識の研究、視覚系の情報処理メカニズムの研究、 118 - 124.
- 50) Ikeda, M. and Uchikawa, K. (1978) Integrating time for

- visual pattern perception and a comparison with the tactile mode. *Vision Research*, 18 , 1565-1571.
- 51) 市川伸一(1982) 視覚的短期イメージの忘却要因と refreshing model.  
日本心理学会第46回大会予稿集 P.130.
- 52) Ichikawa, S (1982) Verbal and visual recall span curves between 1ms and 1min. *Psychological Research*, 44 , 269-281.
- 53) Intraub, H. (1980) Presentation rate and the representation of briefly glimpsed pictures in memory. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 6 , 1-12.
- 54) 乾 敏郎(1976) 視知覚における図形の変換機構. 大阪大学大学院基礎工学研究科修士論文.
- 55) Inui, T., Kawato, M., and Suzuki, R. (1978) Mechanism of mental scanning in foveal vision. *Biological Cybernetics*, 30 , 147-155.
- 56) 乾 敏郎, 宮本 健作(1978) 視覚系における時空間特性. *心理学評論*, 第21巻, 第4号.
- 57) 乾 敏郎(1981) 視覚イメージの構造と形成過程  
*心理学評論* 24, 85 — 107.
- 58) 乾 敏郎(1981) 図形の複雑さと視覚短期記憶の保持率  
日本心理学会第45回大会発表論文集 P.297.
- 59) Inui, T., and Miyamoto, K. (1981) The time needed to judge the order of a meaningful string of pictures, *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 7 , 393-396.
- 60) Inui, T. & Ohmi, E (1982) Length perception in Degenerative Pigmentosa Retinae cases and normal subjects with limited

visual field. Japanese Journal of Ophthalmology, v26, 199-204.

- 61) 乾 敏郎(1982) 図形の複雑さと視覚短期記憶の保持率(I) 再生実験  
日本心理学会第46回大会発表論文集 p57.
- 62) 乾 敏郎(1982) 記憶の数理モデル 心理学評論, 25, 333-358.
- 63) 乾 敏郎(1983) 図形の複雑さと視覚短期記憶の保持率(II)  
基礎心理学研究
- 64) 乾 敏郎(1983) 文字認知の数理モデル 心理学評論, 26.
- 65) Inui, T. and Miyamoto, K. (1984) The effect of the visual field size on facial recognition. Perception (in press)
- 66) Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1976) Eye fixations and cognitive processes. Cognitive Psychology, 8, 441-480.
- 67) Kintsch, W. and Polson, P.G. (1979) On nominal and functional serial position curves : Implications for short-term memory models? Psychological Review, 86, 407-413.
- 68) Kirsner, K., and Sang, D.L. (1979) Visual persistence and code selection in short-term memory for letters. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 5, 260-276.
- 69) Kosslyn, S.M. and Pomerantz, J.R. (1977) Imagery, Propositions, and form of internal representations. Cognitive Psychol. 9, 52-76.
- 70) Krueger, L.E., and Shapiro, R.G. (1980) Why search for target absence is so slow (and careful!) : The more targets there are, the more likely you are to miss one. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 6, 662-685.

- 71) Lancaster, W.B. (1941) Fifty years experience in ocular motility. American Journal of Ophthalmology, 24 , 485-496.
- 72) Loftus, G.R., and Bell, S.M. (1975) Two types of information in picture memory. Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory, 104 , 103-113.
- 73) Loftus, G.R. (1972) Eye fixations and recognition memory for pictures. Cognitive Psychology, 3 , 525-551.
- 74) Loftus, G.R. and Mackworth, N.H. (1978) Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 4 , 565-572.
- 75) Mackworth, N.H. and Morandi, A.J. (1967) The gaze selects informative details within pictures. Perception and Psychophysics, 2 , 547-552.
- 76) McConkie, G.W. and Rayner, K. (1975) The span of the effective stimulus during a fixation in reading. Perception and Psychophysics, 17 , 578-586.
- 77) Miller, G.A. (1956) The magical number seven, plus or minus two : some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63 , 81-97.
- 78) Mitchell, D.C. (1972) Short-term visual memory and pattern masking. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 24 , 394-405.
- 79) Neisser, U. (1967) Cognitive Psychology. New York : Appleton-, Century-Crofts.

- 80) Nelson, W.W., and Loftus, G. (1980) The functional visual field during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 6 , 391-399.
- 81) Nickerson, R.S. (1976) Short-term retention of visually presented stimuli : some evidence of visual encoding. *Acta Psychologica*, 40 , 153-162.
- 82) Oyama, T., Kikuchi, T. and Ichihara, S. (1981) Span of attention, backward masking, and reaction time. *Perception and Psychophysics*, 29 , 106-112.
- 83) Paivio, A., and Bleasdale, F. (1974) Visual short-term memory : a methodological caveat. *Canadian Journal of Psychology*, 28 , 24-31.
- 84) Palmer, S.E. (1977) Hierarchical structure in perceptual representation *Cognitive Psychology*, 9 , 441-474.
- 85) Parker, R.E. (1978) Picture processing during recognition. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 4 , 284-293.
- 86) Phillips, W.A. (1974) On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception and Psychophysics*. 16 , 283-290.
- 87) Phillips, W.A. and Baddeley, A.D. (1971) Reaction time and short-time visual memory. *Psychonomic Science* 22 , 73-74.
- 88) Phillips, W.A., and Christie, D.F.M. (1977) Components of visual memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29 , 117-133.
- 89) Podgorny, P., and Shepard ,R.N. (1983) Distribution of

- visual attention over space. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 9 , 380-393.
- 90) Posner, M.I., Boies, S.J., Eichelman, W.H., and Taylor, R.L. (1969) Retention of name and visual codes of single letters. *Journal of Experimental Psychology* 79 , 1-16.
- 91) Posner, M.I. and Keele, S.W. (1967) Decay of visual information from a single letter. *Science* 158 , 137-139.
- 92) Potter, M.C. (1976) Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 2 , 509-522.
- 93) Pottern, M.C., & Levy, E.I. Recognition memory for a rapid sequence of pictures. *Journal of Experimental Psychology*, (1969) 81 , 10-15.
- 94) Pylyshyn, Z.W. (1973) What the mind's eye tells the mind's brain : A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin* 80 , 1-24.
- 95) Rayner, K. (1975) The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7 , 65-81.
- 96) Rayner, K. (1978) Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin*, 85 , 618-660.
- 97) Rumelhart, D.E. (1977) *Introduction to Human Information Processing*, John Wiley & Sons.
- 98) Saida, S. and Ikeda, M. (1979) Useful visual field size for pattern perception. *Perception and Psychophysics*, 25 , 119-125.
- 99) Sartre, Jean-Paul (1955) *L'Imaginaire*. ( 平井啓元訳 / 1955 想像力の問題: 想像力の現象学的心理学 人文書院 )

- 100) Saslow, M.G. (1967) Latency for saccadic eye movement.  
Journal of the Optical Society of America, 57, 1030-1033.
- 101) Segal, S.J., and Fusella, V. (1970) Influence of imaged pictures and sounds on detection of visual and auditory signals. Journal of Experimental Psychology, 83, 458-464.
- 102) Segal, S.J. and Gordon, P.E. (1969) The Perky effect revisited ; Paradoxical threshold or signal detection error. Perception and Motor Skills 28 , 791-797.
- 103) Shepard, R.N. (1975) Form, formation, and transformation of internal representations. In R. Solso (Ed,) Information Processing and cognition : The Loyola Symposium. Hillsdale, N.J. : Erlbaum
- 104) Shepard, R.N. and Chipman, S, (1970) Second-order isomorphism of internal representationd : Shapes of states. Cognitive Psychology. 1-, 1-17.
- 105) Sperling, G. (1960) The information available in brief visual presentations. Psychological Monographs, 74 , 1-29.
- 106) Sperling, G., Budiansky, J., Spivak, J.G., & Johnson, M.C. (1971) Extremely rapid visual search : The maximum rate of scanning letters for the presence of a numeral. Science, 174 , 307-311.
- 107) Treisman, A.M., & Gelade, G. (1980) A feature-integration theory of attention. Cognitive Psychology, 12 , 97-136.
- 108) von Wright, J.M. (1968) Selection in immediate visual memory. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 20 , 62-68.

- 109) Watanabe, A., & Yoshida, T. (1973) Roles of central and peripheral vision in pattern perception. NHK Technical Monograph, 21 , 23-31.
- 110) Weber E.H. (1846) Der Tastsinn und das Gemeingefühl, Handwörterbuch der Physiologie, III, 481-588. Wagner R, Ed, Bieweg, Braunschweig.
- 111) Wickelgren, W.A. (1968) Unidimensional strength theory and component analysis of noise in absolute and comparative judgements. Journal of Mathematical Psychology, 5 , 102-122.
- 112) Wichelgren, W.A. (1970) Time, interference, and rate of presentation in short-term recognition memory for items. Journal of Mathematical Psychology, 7 , 219-235.
- 113) Wickelgren, W.A. (1974) Single-trace fragility theory of memory dynamics. Memory and Cognition, 2 , 775-780.
- 114) Wickelgren, W.A., and Berian, K.M. (1971) Dual trace theory and the consolidation of long-term memory, Journal of Mathematical Psychology, 8 , 404-417.
- 115) Wilkins, A., and Stewart, A. (1974) The time course of lateral asymmetries in visual perception of letters, Journal of Experimental Psychology 102 , 905-908.
- 116) Wilton, R.N., & File, P.E. (1975) Knowledge of spatial relations : A preliminary investigation. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37 , 192-198.
- 117) Yarbus, A.L.(1967) Eye Movements and Vision. New York : Plenum Press.
- 118) Yodogawa, E.(1982) Symmetropy, an entropy- like measure of visual symmetry. Perception and Psychophysics, 32 , 230-240.



## 第5章、結び

本論文は、1975年以来行なってきた研究成果の一部をまとめたものである。視覚系は並列処理と直列処理（たとえば眼球運動による継時的処理）をくみ合わせて高度なパターン認識能力を発揮している。私は本論文において、3つの処理段階に分け、それぞれの段階における処理様式について考察した。処理の単位は階層的処理において、上位になればなる程、大きくなりより構造化されてくる。私は本論文の冒頭において視覚研究の一つの枠組を示した。それは、階層的処理において、一つの処理単位の特性と相互作用という観点で各階層をしらべていくことにより、一つの法則性が見い出せるかもしれないということであった。さらにこれと密接に関連するが、競合と協調という観点からしらべることにより、パターン認識の一般原理が明らかにされるかもしれない、という期待である

。このように人間の視覚系の情報処理過程を  
 丹念にしらべていくことにより、私はパター  
 ン認識の計算理論を考えて行こうとしている

第2章では、心理物理学的手法により、光  
 パターン-神経興奮の変換様式について検討  
 を行った。その結果、中心窩で直径 $d_c$ 、偏  
 心度 $\rho^\circ$ で約 $1/2$ のY型細胞の受容野(中心<sup>部</sup>)  
 と、偏心度 $\rho^\circ$ 以内で直径 $d_p$ でほぼ一定の  
 X型細胞の受容野(中心<sup>部</sup>)が存在することが  
 明らかにされた。しかもY型細胞の受容野直  
 径の偏心度と線形関係にあった。フリッカー  
 感度の前者に、視力の後者によって決定され  
 るらしい。また、生後、適切な刺激が与えら  
 れない場合、受容野の直径が大きくなる等、  
 受容野特性が低下することが明らかにされた。  
 一方、Y型細胞は受容野中心<sup>部</sup>直径のおよ  
 そ3倍の範囲で抑制性の入力を受けているこ  
 とが明らかにされた。最後に、これらの結果  
 をヒトとほぼ等しい視力、空間周波数特性を

モッアカデザルの電気生理学的、解剖学的研究と比較した。また、ヒトの解剖学的データを考慮し、Shannonの標本化定理によって網膜の光信号の復元能力を評価した。既に述べたように、上記のY型細胞の受容野中心<sup>部</sup>の偏心度とともに、大きくなるが、視細胞である錐体 (cone) 密度は逆に小さくなるので、偏心度によらず、受容野中心<sup>部</sup>に含まれる錐体数<sup>部</sup>は(10以内で)ほぼ一定であった。受容野周辺<sup>部</sup>の大きさが受容野中心<sup>部</sup>の1/3倍なので、同様に、偏心度によらず一定の範囲の錐体から抑制性☐の入力を受けていることになる。

第3章 §3-2 から、同様に、抑制性の結合範囲<sup>部</sup>は(視角で測ると偏心度とともに増加するが)皮質レベルでは偏心度によらず一定の大きさであった。第2章、第3章で与えた理論的考察は、パターンの計算理論の基礎であると考えている。Solley と Murphy (1960) やそれ以前の研究者は注意というものを単一のプロセスとして又、“エネルギー”の割りあ

てとみなしている。しかしながら Neisser(1967)以来、注意を2つの継時的に働くプロセスとあつかっている。しかし、その神経機構についてほとんど議論されていなかった。第3章では、最近の生理学的知見を総合するとともに数理神経学の観点から2つのプロセスと“注視の移動”に関する神経機構を考えた。そこである部分に注意を集中する事でその部分以外の領域に対応するニューロンを抑制する事であると考えられた。こうしてニューロン集団はある“部分を注目している”という平衡状態に到達する。しかしこの平衡状態はニューロンの疲労項を考慮すれば、破られて新しい平衡状態に移る。これが注意の移動である。つまり平衡状態の破局(catastrophe)が注意の移動にとって重要なのである。ところで、第2章で述べたように網膜レベルでは受容野の大きさはかなり均質であり、ばらつきは少ないと考えられる。これは、ネコの網膜神経節細胞で確認されている(Clelandら, 1979)。

したがって、空間周波数チャンネルがある（すなわち、それぞれの偏心度で受容野の大きさにばらつきがある）とすれば、それの皮質レベルで実現されているものと考えられる（Maffei & Fiorentini, 1977 参照）。第4章で述べた視野制限実験においては、全体に対する割合が問題となり、パターンの大きさにはよらない（size invariance）。同様のことは、視覚短期記憶の容量（Ichikawa, 1982）についても、絵の再認率と視野の大きさの関係（Saida & Ikeda, 1979）についても見られる。これは視覚系が種々の分解能で情報を処理していることが示唆されている（たとえば Maffei & Fiorentini, 1977）ことと密接に関連するであろう。また、分解能が低いチャンネルほど信号の伝達速度が速い（p 147 参照）ので、粗い情報を Plan として、詳細な処理をしている<sup>1</sup>可能性がある。比較的最近になって、機械によるパターン認識の研究においても同様の処理方式が考えられてきた。Rosenfeld (1980) のパ

(脚注1) 機械によるパターン認識の初期の研究として Kelly (1971) がある。

ターンのピラミッド表現について解説している。また Wong と Hall (1978) は上述のように粗い情報をもとにして風景の中から探すべき物体のおおよその位置を見つけてから、徐々に分解能を上げていくアルゴリズムを提案している。§4-10 でおおよそ  $20^\circ$  の範囲から大きな情報を処理し、重要と思われる位置に目を向けて処理していることを述べたが、これもこのような処理様式を示唆しているのであらう。おそらく瞬間視の事態においても、眼球運動走査を伴う場合もこのような処理をしていると考えられる。

第4章では特に後者の事態、すなわち継時的なイメージ形成の基礎過程に関する研究について述べた。Iconic memory に貯えられた情報は、選択的にその特徴が抽出されイメージ化されて、視覚短期記憶に貯えられる。ある程度言語化できる場合でも、視覚的記憶が悪いことが知られている (Mandler & Ritchy, 1977; Mandler & Parker, 1976) が、第4章でも短期記

憶の容量は  $4 \times 4 \times 4$  の MP と  $4 \times 4 \times 4$  の MP の間に存在した。そして第4章では継時的に情報を獲得するモデルを提案した。しかし、モデルではいくつかの問題点が残されている。まず提示時間の短い（2秒以下）部分において、データに対する適合度が悪いことである。この点について、非常に粗い情報は即座に獲得され、かつ忘れにくいという点を示唆するデータも得られたのでこの点を考慮すべきであろう。また、部分分割数とチャニクの評定値の差についても今後の問題である。ただ既に述べたように、チャニクは同時にイメージ化できる容量と密接に関係しているようである。おそらく、これまでのチャニク数が再生場面から推定されているからであると思われる。

全体的 (global) 情報と局所的 (local) 情報がどのように相互作用しあって一つのイメージの構造が作られているのか今後詳しく検討すべきであろう。Tulving と Donaldson (1972) らに

始まる記憶研究は1つのパラダイムを提言した。多くの新しい知見が明らかにされることにより、私たちは、要素主義的でもなく全体論的でもなく階層的ネットワーク構造という視点に立ってイメージを捉えることができるようになった。

しかしながら、ネットワークの構造単位や、位置関係および部分の特性がいかにして記憶されるかという疑問が残る。今後にはさらにこの点を詳細かつ系統的に検討することが必要であろう。すでに Palmer (1967) によって提出されたモデルが「巨視的モデル」とするならば、今後はいわば「微視的モデル」が必要である。それを実現するためには、意味記憶の研究をさらに進めるとともに、もう一度視覚短期記憶の諸特性を多角的に再検討し、併せて眼球運動等、運動系ならびに感覚系における情報の統合過程を検討することが必要となるだろう。



- 1) Cleland, B.G., Harding, T.H., and Tulunay-Keesey, U. (1979) Visual resolution and receptive field size: Examination of two kinds of cat retinal ganglion cell. *Science*, 205, 1015-1017.
- 2) Ichikawa, S. (1982) Measurement of visual memory span by means of the recall of dot-in-matrix patterns. *Behavioral Research Methods and Instrumentation*, 14, 309-313.
- 3) Kelly, M.D. (1971) Edge detection in pictures by computer using planning. *Machine Intelligence*, 6, 397-408. Edinburgh University Press.
- 4) Maffei, L., and Fiorentini, A. (1977) Spatial frequency rows in the striate visual cortex. *Vision Research*, 17, 257-264.
- 5) Mandler, J.M., and Parker, R.E. (1976) Memory for descriptive and spatial information in complex pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 38-48.
- 6) Mandler, J.M., and Ritchy, G.H. (1977) Long-term memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3, 386-396.
- 7) Neisser, U. (1967) *Cognitive Psychology*. Appleton-Century-Crofts.
- 8) Rosenfeld, A. (1980) Quadtree and pyramids for pattern recognition and image processing. *Proceeding of 5th ICPR*, 802-811.
- 9) Saida, S., and Ikeda, M. (1979) Useful visual field size for pattern perception. *Perception and Psychophysics*, 25, 119-125.

- 10) Solley, C.M., and Murphy, G.M. (1960) The Development of the Perceptual World. New York: Basic Books.
- 11) Tulving, E., and Donaldson, W. (1972) Organization of Memory. Academic Press.
- 12) Wong, R.Y., and Hall, E.L. (1978) Sequential hiararchical scene matching. IEEE Transaction on Computer, 27, 359-366.

## Appendix. 実験装置

### 1. 装置の特徴と原理

実験に用いられた装置は、可児と萩田が開発した赤外線眼底視野計 (infrared fundus controlled perimeter) および稲富らが開発した赤外線眼底ハプロスコープ (infrared fundus haploscope) である。これらの装置は、被験者の眼底像を赤外線によってモニタリングでき、視標を提示すべき眼底位置を正確に決定可能である。具体的に特徴を挙げれば以下のとおりである。

- (i) 被験者の眼底を常に監視できる。
- (ii) 視標の提示位置が網膜像と重ね合わせてモニタテレビに写し出される。
- (iii) Maxwell視である。
- (iv) 視標および背景の輝度を0.1 対数単位で変化させられる。

次に(i)から(iii)の特徴がどのように実現されている

るからについて説明する。

### 赤外光による眼底像の撮影

まず、光源Aから出た光は、赤外フィルターを通過し、赤外光だけがハーフミラーBに達し、そこで反射して被験者の角膜に達する(図97)。角膜に達する赤外線は直径 $1.5\text{mm}$ の円形部分を含む中央の領域を除き瞳孔を通過し網膜を照射する(図98)。網膜の反射光は、対物レンズを通過し、さらにハーフミラーの穴を通りぬけてEの面で結像するようにレンズ系Fを調節する。ここで結像した眼底像はハーフミラーGによ、り反射してジョンカメラでとらえられモニターテレビに写し出される。ハーフミラーGは可視光は通過し、赤外光だけが反射するように作られている(図97)。

### Maxwell 視による視標の提示

被験者が  $L(\text{cd}/\text{m}^2)$  の輝度に順応したときの瞳孔径を  $d(\text{mm})$  とすれば、

$$d = 5 - 0.5 \tanh(0.4 \log L)$$

で近似されることが知られている。通常瞳孔

径は  $2\text{mm}$  から  $1\text{cm}$  の間で変化するが、本研究で用いた  $3\text{cd/m}^2$  程度の輝度では、瞳孔径は  $4\text{mm} \sim 5\text{mm}$  である。このように瞳孔径は刺激輝度とともに変化するのど、通常網膜照度 (retinal illumination) は順応輝度  $L$  と瞳孔面積  $S$  の積に比例する。 $1\text{mm}^2$  の瞳孔を通して  $1\text{cd/m}^2$  の光を見たときの網膜照度を 1 troland (略して 1 td.) と定義されている。我々は Maxwell 視という方法によ、瞳孔径によらず有効に輝度を変化させている。Maxwell 視とは、刺激光が瞳孔の中心を小さい直径で通るようにし、網膜に達する光景が瞳孔径に影響されないようにする方法である。Maxwell 視を用いることによ、瞳孔を通る光束が狭いために像の深度が深く乱視の影響を受けにくくなる。

赤外線眼底視野計(図99)では、視標は通常 B の位置に視標が置かれる。それは赤外フィルターに提示すべき形の穴をあけたものである。すなわち、穴の部分は可視光も赤外光も

通過するがそれ以外の部分は赤外光だけが通過する。Bの位置に結像した赤外光による眼底像はこのフィルターを通り、マビジコンに入る。光源Aから出た可視光は、ハーフミラーGを通過し、視標の穴の部分を通り、マーフミラーBにある直径1.5mmの穴を通り、被験者の瞳孔を直径1.5mmの光束で通過するように設計されている。一方、赤外光による眼底像はやはりBの位置に結像するので、ちょうど眼底像と視標が重ね合わせられてマビジコンで撮影されることになる。したがって、視標の位置が眼底上で正確に決定できるのである。さらに視標のピットは眼底像のピット合わせと同時に進行することができる。被験者に屈折異常があっても眼鏡を使用する必要がない。

## 2. 装置の説明

### 赤外線眼底視野計

図99のBは眼底の像の結像する面であり、ここに赤外線透過フィルターが置かれる。こ

のフィルターには、Nd:YAG レーザ加工装置によつて小孔があけられており、A から白色光で照明することにより小孔が視標となるようにされている。この光は眼底カメラの撮影系の光路を逆行し、直径  $1.5\text{ mm}$  の光で瞳孔を通過して眼底に結像する。したがつて Maxwell 視によつて測定である。C は背景光であり、D は固視点の光源である。背景視野は直径  $30^\circ$  の円形である。照明光はフジ LB B No. 12 色温度変換フィルターによつて約  $6000^\circ\text{K}$  に補正してある。視標の輝度は最大  $10000\text{ asb}$ 、コダックラッティン ND フィルター No. 96 によつて、 $0.1\text{ log unit}$  のステップで減光され、この値がモニター上にデジタル表示される。背景輝度は  $10\text{ asb}$ 、網膜照度は  $5.7\text{ td}$  である。白色で、固視標は赤色で直径  $7'$  の円形である。

### 赤外線眼底ハプロスコープ

本装置は稍密らば開発したものであるが、基本的に前述の赤外線眼底視野計を二台組

み合わせたものである（稲富ら、1980；  
Inatomi et al., 1983）。図100にその外観を示す。

ス台の眼底カメラの対物鏡の前に反射鏡を取り付け、カメラ本体は眼球回旋点を軸に回転する。眼底像と視標の位置は共軛な点になっているので、眼底像と視標はTVカメラに重なって受像される。受像はス台のモニターTVによって観察される。また、ス台のカメラ本体は前後、左右に可動で、瞳孔距離は最小50mmまで合わせられる。本装置ではカメラ本体の角度をかえて斜視角を測ることも、また視標の入射角をかえることもできる。本装置の視標観察光は光源部がカメラ本体外にあり、グラスファイバーで送り込んでいる。

なお、これらの装置の精度であるが、モニターテレビの走査線一本の幅が約 $2.5'$ なので、 $3'$ 程度の精度で視標の位置を決められる。図101は正常者の血管暗点（すなわち血管があるためにその部分の感度が低下する）を示してい



る。この結果から視標の位置がきわめて正確に決められることがわかる。太い血管の感度は血管の周囲と比べて約1.5対数単位低い。視標の網膜投射位置をモニタできない従来の装置では、この血管暗点などのために実験結果が必ずしも一致しないことが生じたものと思われる。

## 謝 辞

第2章は、兵庫医科大学眼科学教室の可児一孝助教授、三村治講師、大阪近江眼科近江栄美子博士との共同研究である。第3章第4節は、大阪大学基礎工学部生物工学科鈴木良次教授、川人光男助手との共同研究である。第4章はすべて私が大阪大学人間科学部行動系宮本健作教授のもとで行なった研究である。これらの諸先生方に深く感謝いたします。また、本論文を書く機会を与えて下さった京都大学本吉良治教授、平野俊二教授、清水御代明助教授に感謝します。

昭和59年2月

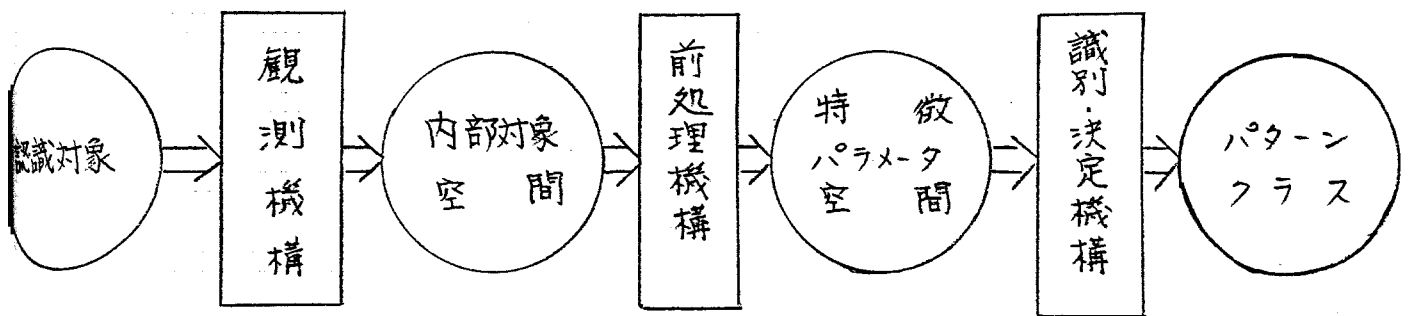


図1. パターン認識の一般的方法。

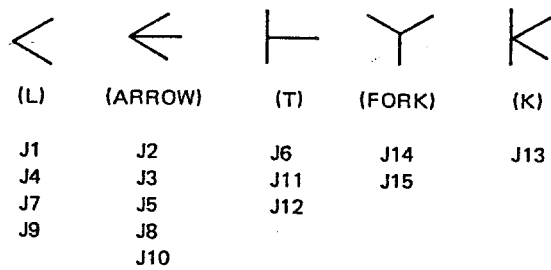
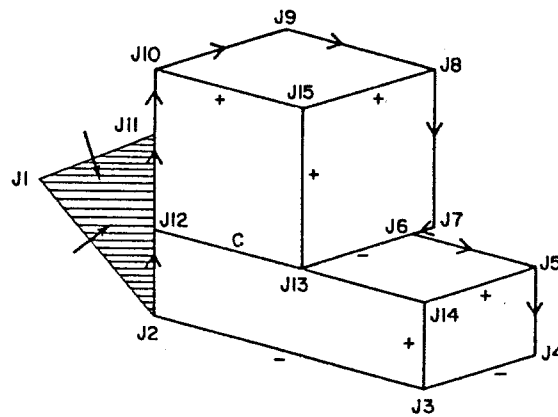
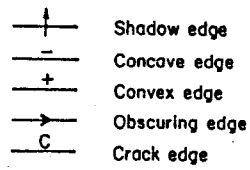
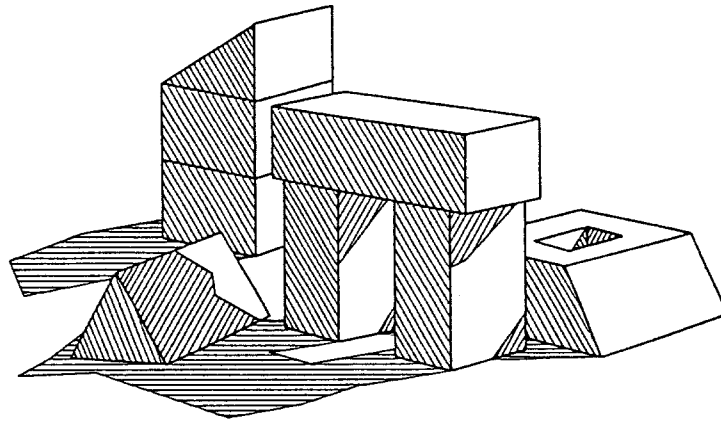
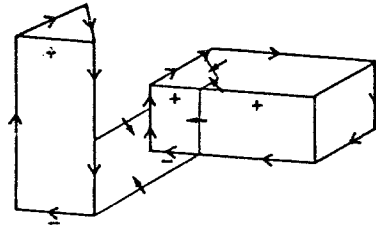


図2. 積み木の世界の例と線の正しい解釈の例。



— + —	1	Convex edge
— → —	2	Obscuring edges (Obscuring body lies to right of arrow's direction.)
— ← —	3	
— C —	4	Cracks (Obscuring body lies to right of arrow's direction.)
— C —	5	
— ↑ —	6	Shadows (Arrows point to shadowed region.)
— ↓ —	7	
— - —	8	Concave edge
— - → —	9	Separable concave edges (Obscuring body lies to right of arrow's direction; double arrow indicates that three bodies meet along the line.)
— - ← —	10	
— - < —	11	

図 3. 11種類 の 線 の 解 釈 (Wartz, 1975)。

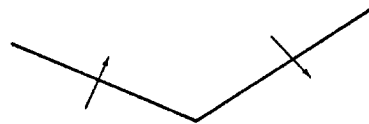


図 4. 物 理 的 に 存 在 し な い 線 の 組 合 せ  
(Wartz, 1975)。











	Approximate number of combinatorially possible labelings	Approximate number of physically possible labelings
	3,249	92
	185,000	86
	185,000	826
	185,000	623
	$11 \times 10^6$	10
	$11 \times 10^6$	435
	$11 \times 10^6$	213
	$11 \times 10^6$	128
	$11 \times 10^6$	160
	$600 \times 10^6$	20

図5. 物理的に存在する線の組合せの数  
(Wartz, 1975)。

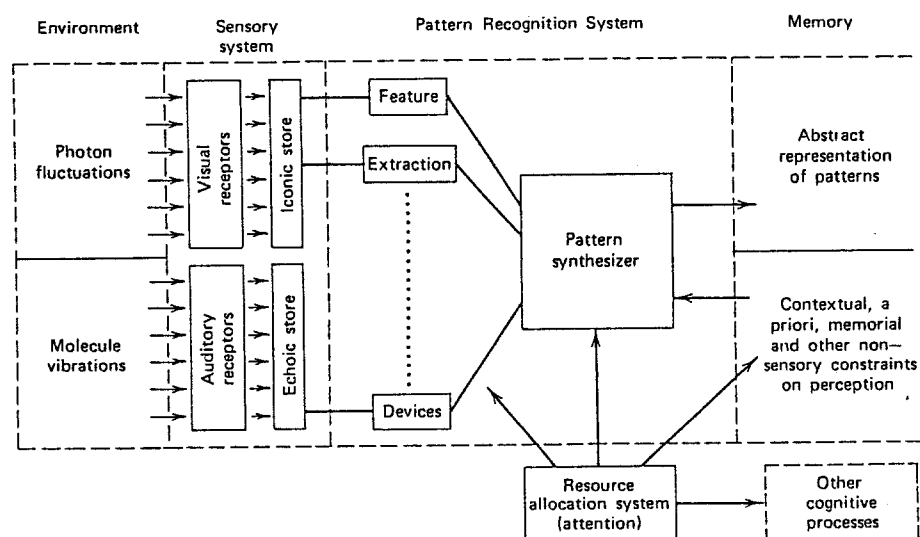


図 6. 人間の情報処理過程 (Rumelhart, 1977)。



Dissipative structure in the Zhabotinski reaction



図6-7 濃度波の伝播(B-Z反応).

図7. Belousov-Zabotinsky 反応にみられる時  
空間パターン



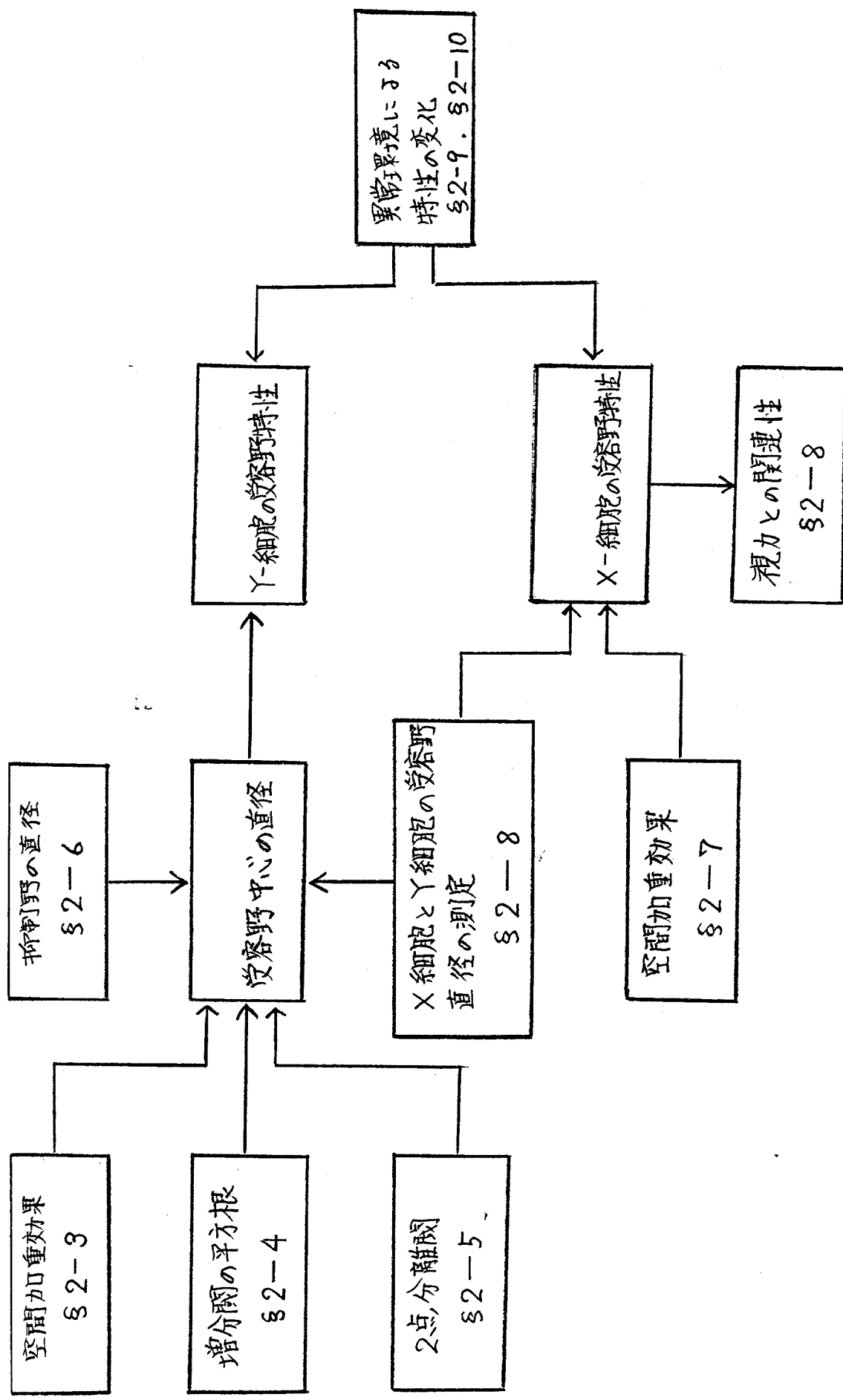
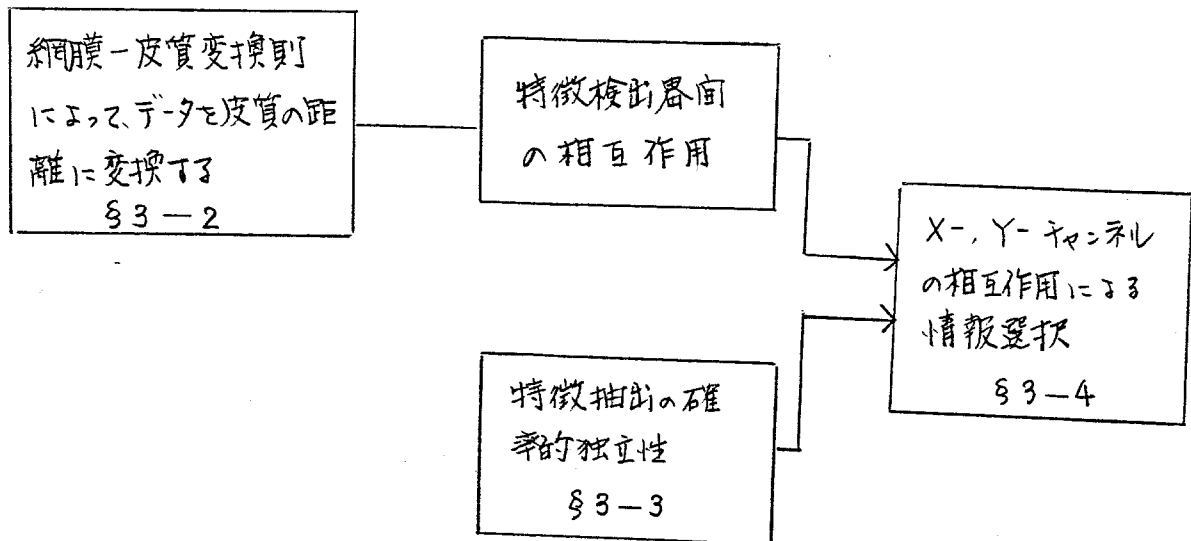
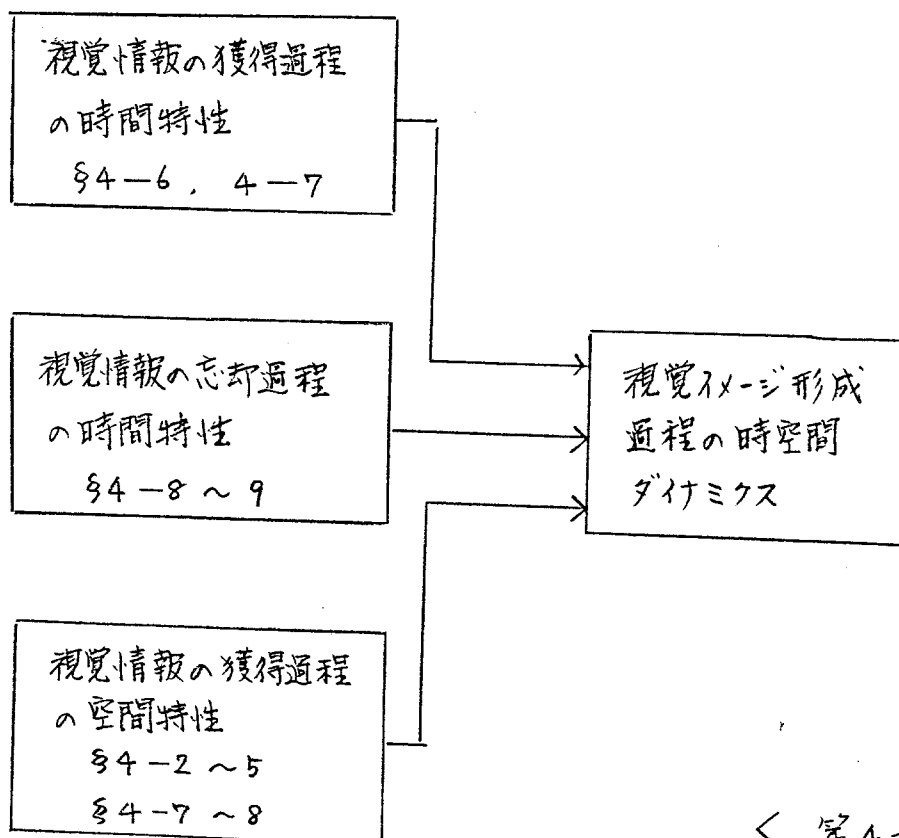


図8. . . 第2章の構成



< 第3章 >



< 第4章 >

図 9. 第3章および第4章の構成

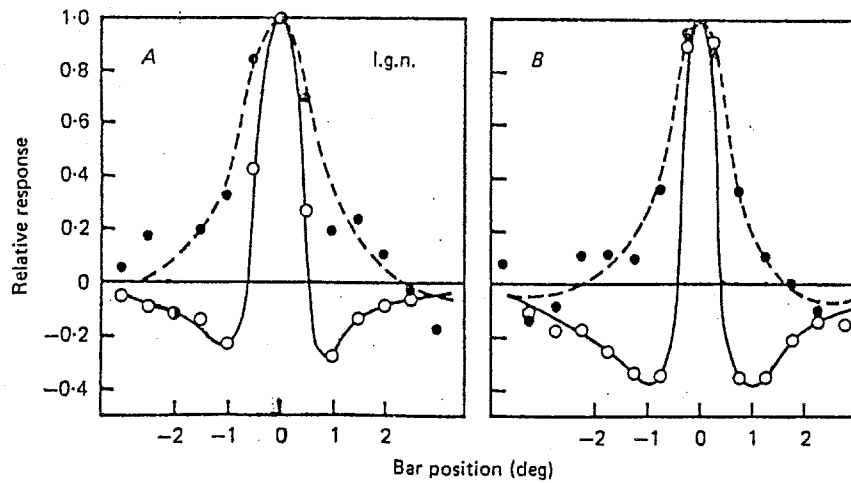


Fig. 1. Line spread functions at two luminance levels for a l.g.n. cell and a retinal ganglion cell. The amplitude of the first harmonic response from Fourier analysis is plotted as a function of the stimulus position. For both (A) and (B), the stimulus was a  $\frac{1}{2}$  degree wide bar, modulated at 2 Hz. The plots have been normalized to the peak response, obtained at the receptive field centre. The data represented by the open circles were obtained at 20 cd/m<sup>2</sup>, and those represented by the filled circles were obtained at 0.0012 cd/m<sup>2</sup>. The data in (A) were from an X-On geniculate cell. Open circles: the stimulus contrast was 5% and the peak response was 11.6 impulse/sec. Filled circles: the contrast was 80% and the peak response was 10.6 impulse/sec. The data in (B) were from a Y-On retinal ganglion cell. Open circles: the stimulus contrast was 8% and the peak response was 31 impulse/sec. Filled circles: the contrast was 32% and the peak response was 25 impulse/sec.

図10. X-On網膜神経節細胞の受容野特性  
( Kaplan, Marcus, & So, 1979 )。

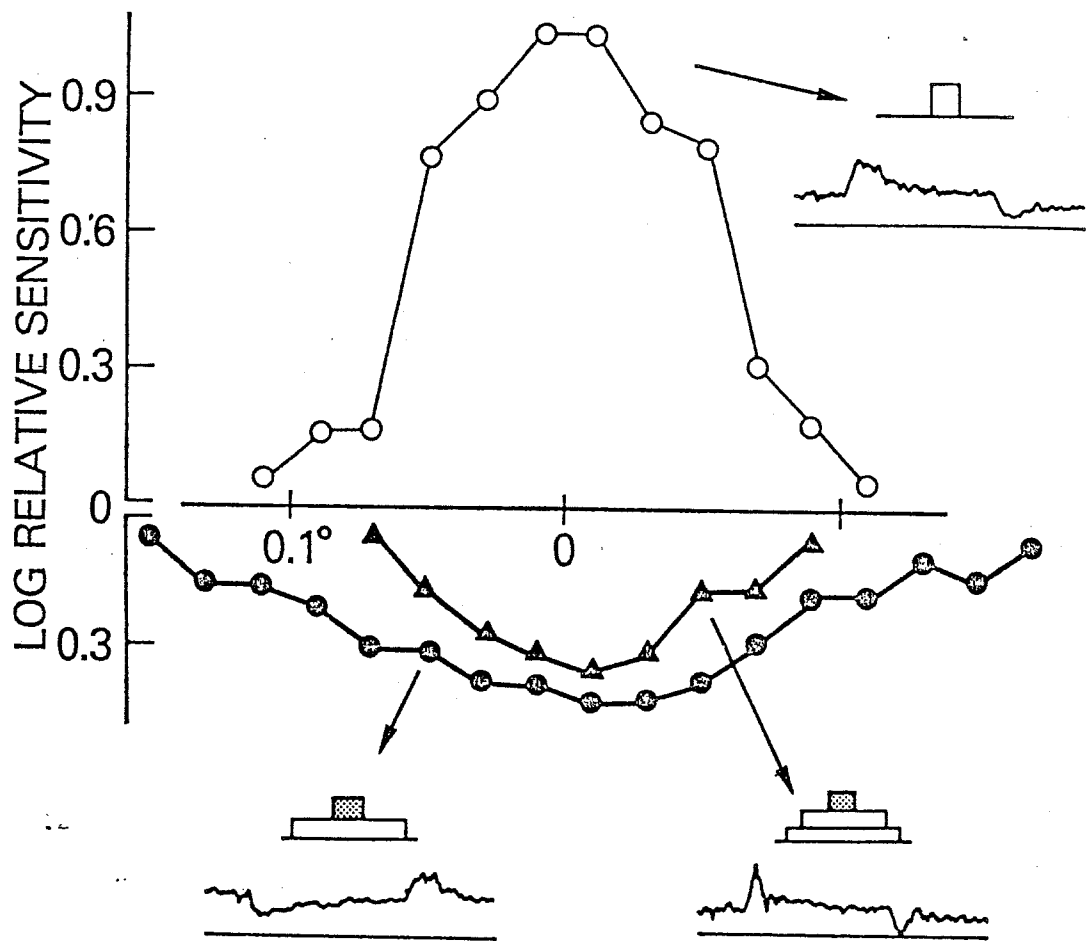


FIG. 10. Profiles of the spatial distribution of pure center (open circles), pure surround (solid circles), and of mixed responses (solid triangles) of a type IV cell. Center profile obtained with a 540-nm spot of  $0.01^\circ$  (nominal) on a white background of 150 td. Surround profile of pure responses obtained with a 600-nm spot of  $0.03^\circ$  on a 500-nm background ( $4.2 \times 10^{10}$  quanta  $\cdot$  s $^{-1}$   $\cdot$  deg $^{-2}$ ). Mixed-response profile based on the threshold for a transient discontinuity in cell firing elicited by the concurrent flashing of a 540-nm spot of  $20^\circ$  and a 620-nm spot of  $0.03^\circ$  in the presence of a 500-nm background of  $8.2 \times 10.7$  quanta  $\cdot$  s $^{-1}$   $\cdot$  deg $^{-2}$ . Pulse density tracings show representative averaged responses used to generate profiles.

図11. サルの broad-band cell の受容野特性  
( De Monasterio, 1978 ).

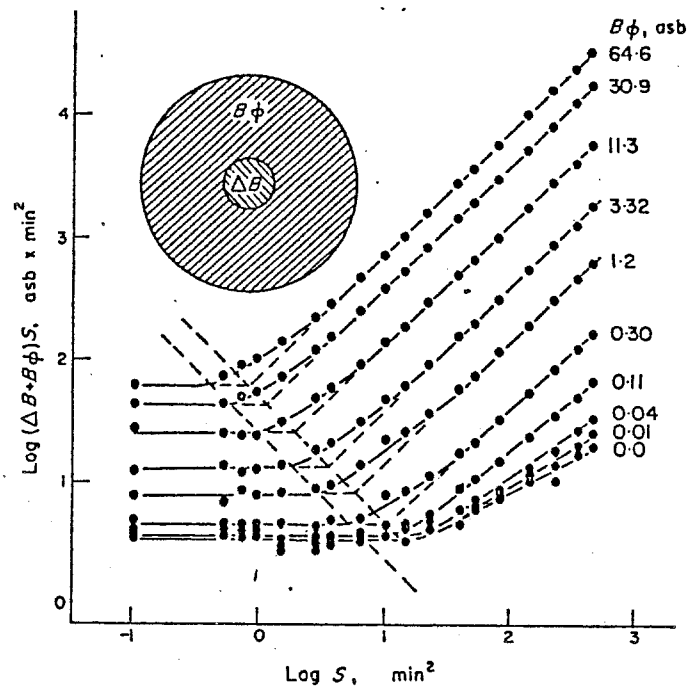


図12. 刺激面積と閾エネルギーの関係 (Glezer, 1970)。

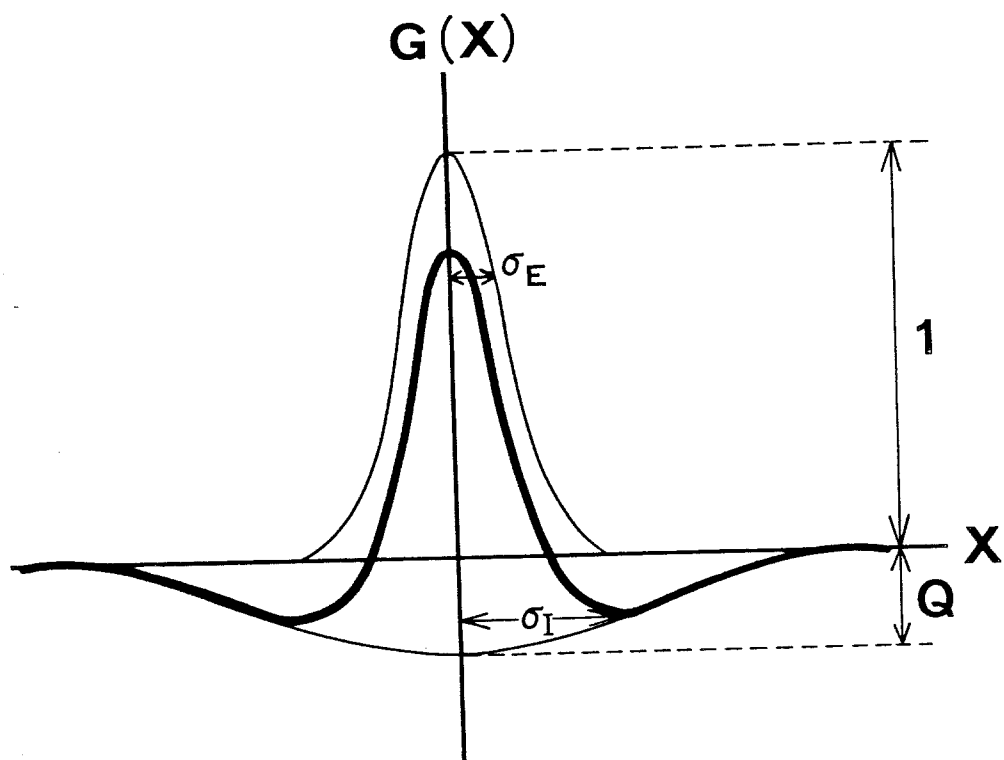


図13. 受容野の感度分布。感度分布（太線）は2つのガウス関数（細線）の差で表わされる。

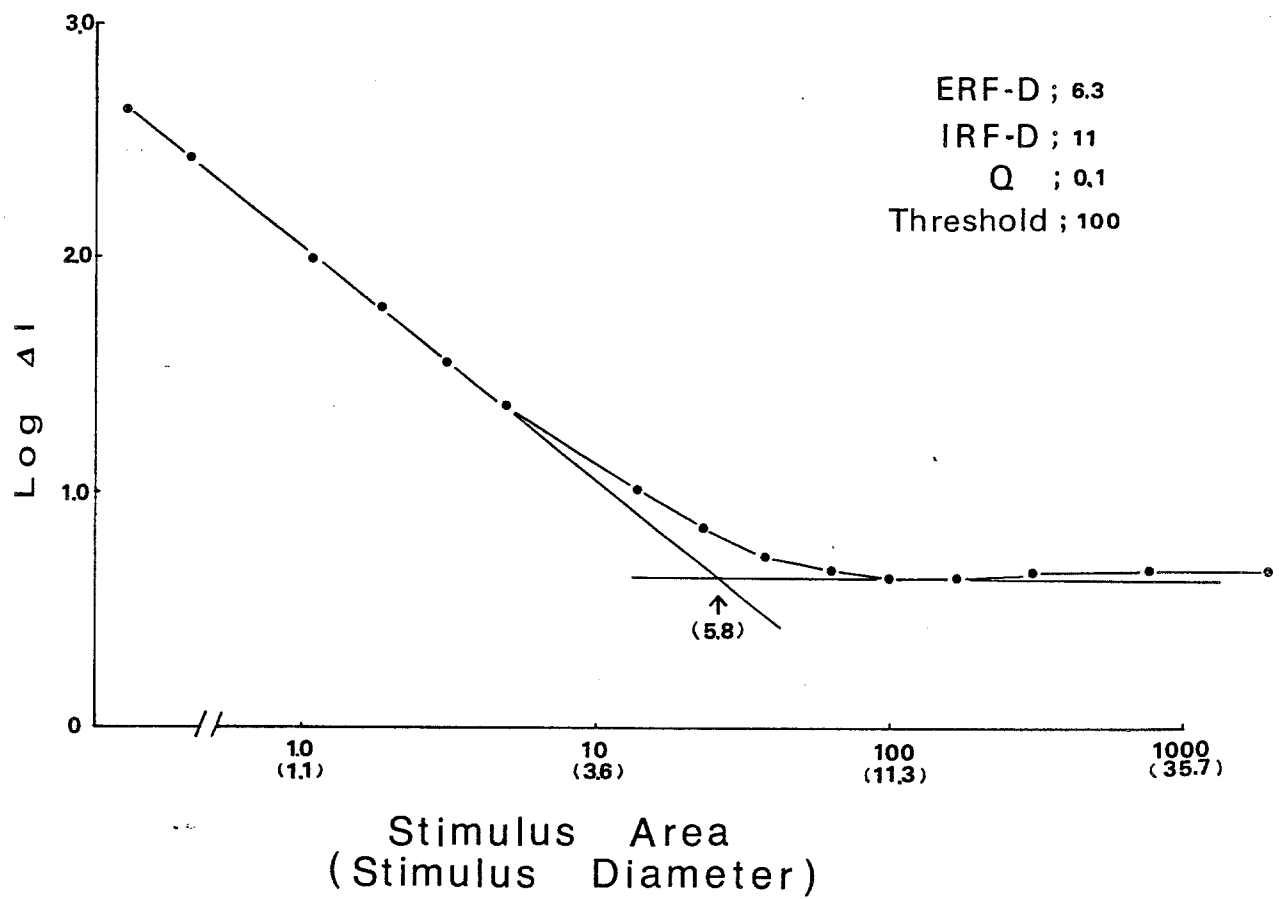


図14. 増分閾 $\Delta I$ と光点の面積。ERF-D  
は20Eを, IRF-Dは20Eを示す。

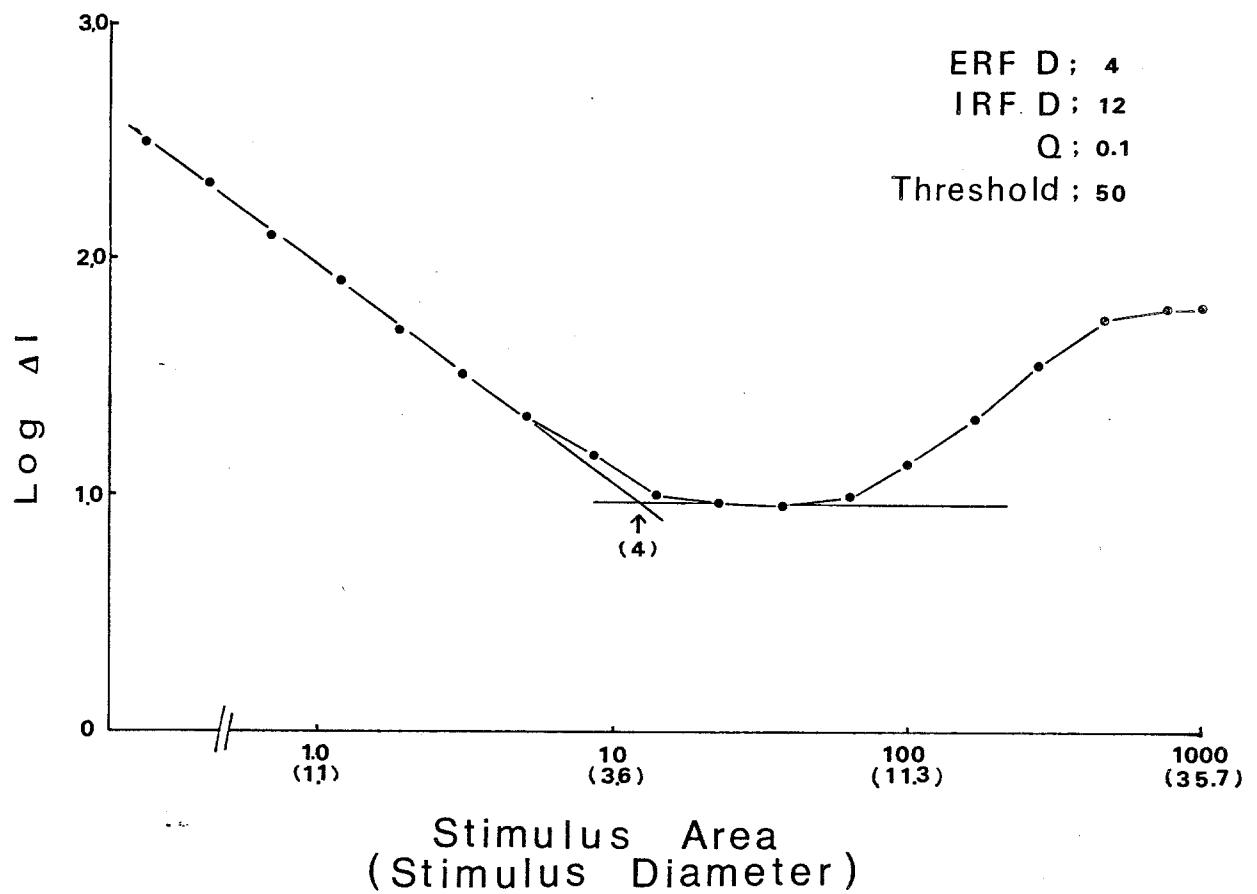


図15. 増分閾 $\Delta I$ と光点の面積。図14に比べて抑制の強さが強い。



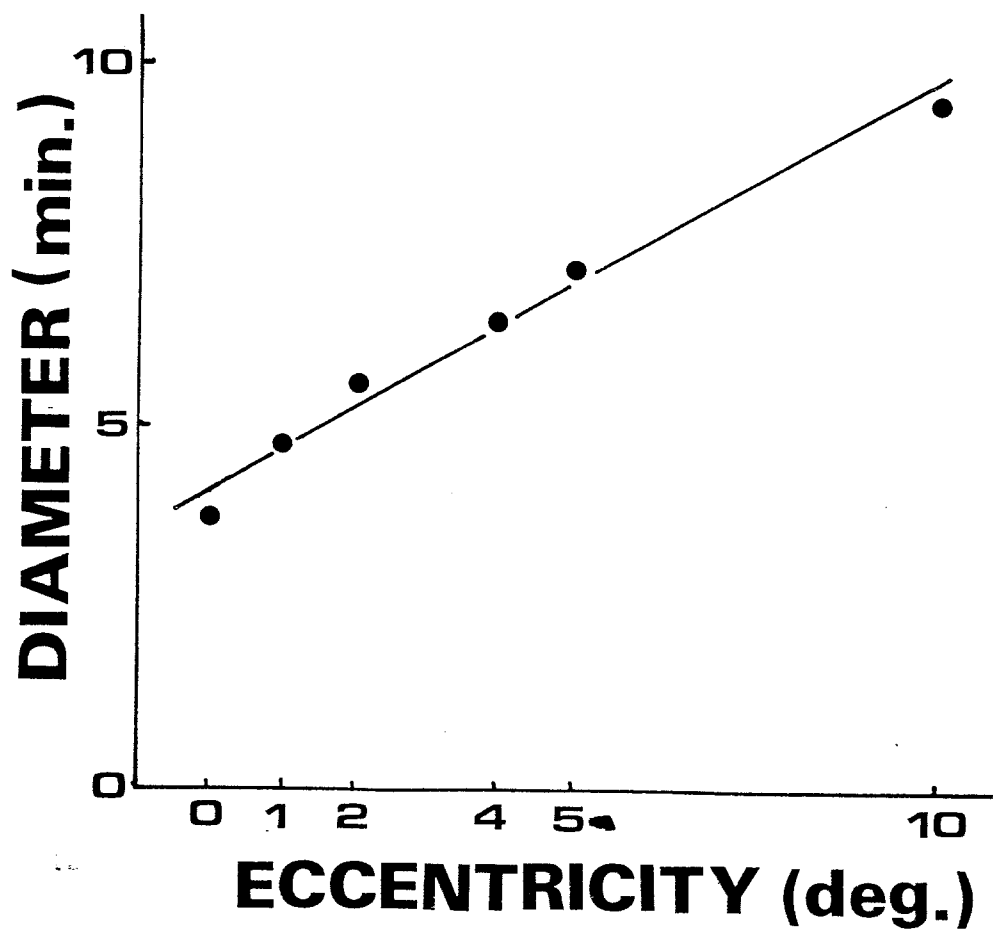


図16. 受容野直径と網膜偏心度の関係.  
被験者の H.M.

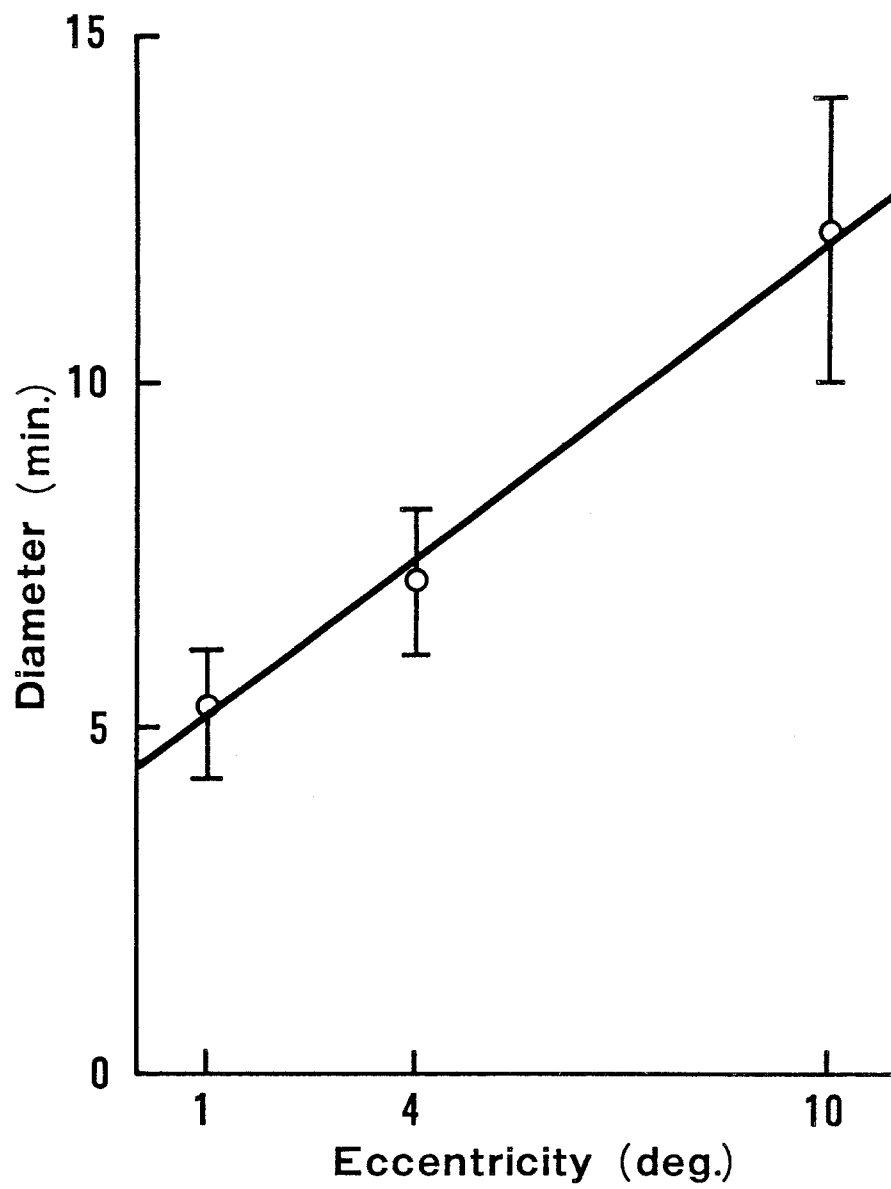


図17. 受容野直径と網膜偏心率の関係。

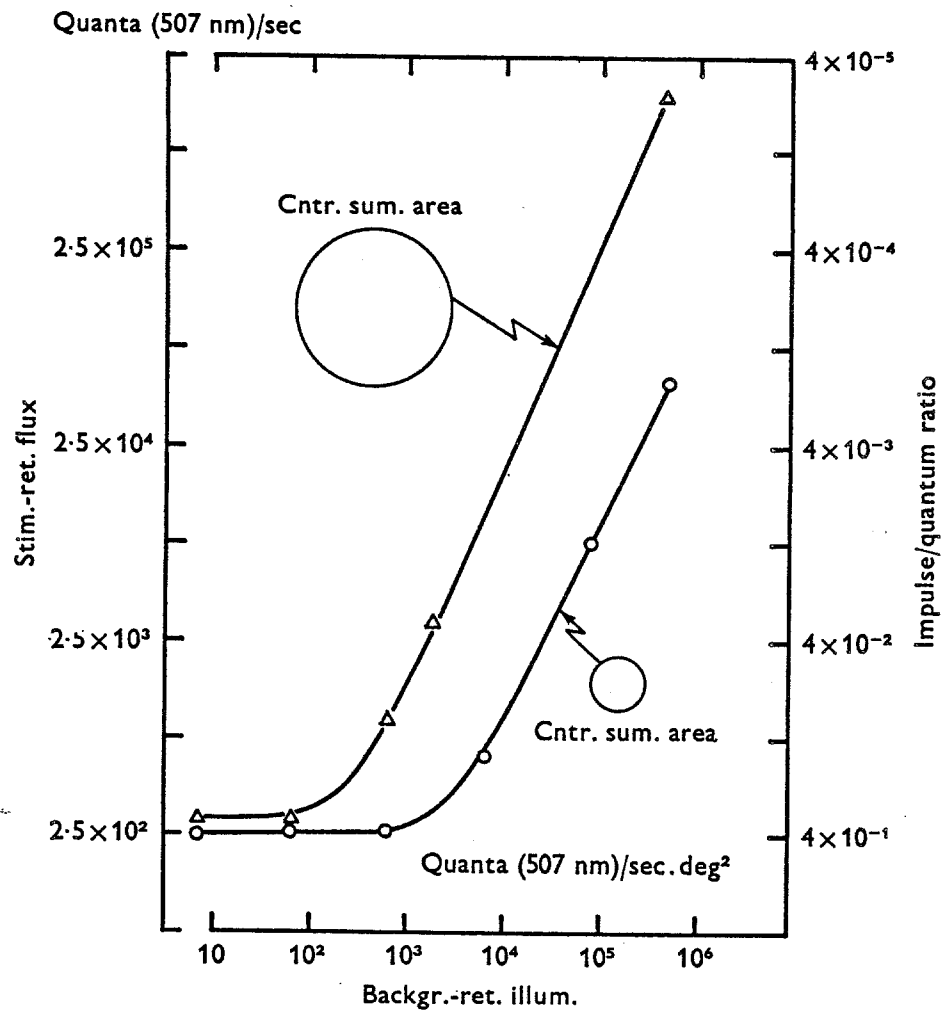


図 18. ネジ網膜神経節細胞の感度と網膜照度の関係。  
感度が低下して始める臨界レベルは、網膜照度で  
決定されるのではなく、受容野に投射される光エネルギー  
の総和（網膜照度×受容野面積）で決定される。そ  
れゆえ、大きい受容野をもつ神経節細胞は、より低い  
網膜照度で感度が低下し始める。この事実から、高い  
網膜照度での神経節細胞の閾値は受容野面積に  
比例することが示唆される（Enroth - Cugell &  
Shaplay, 1973）

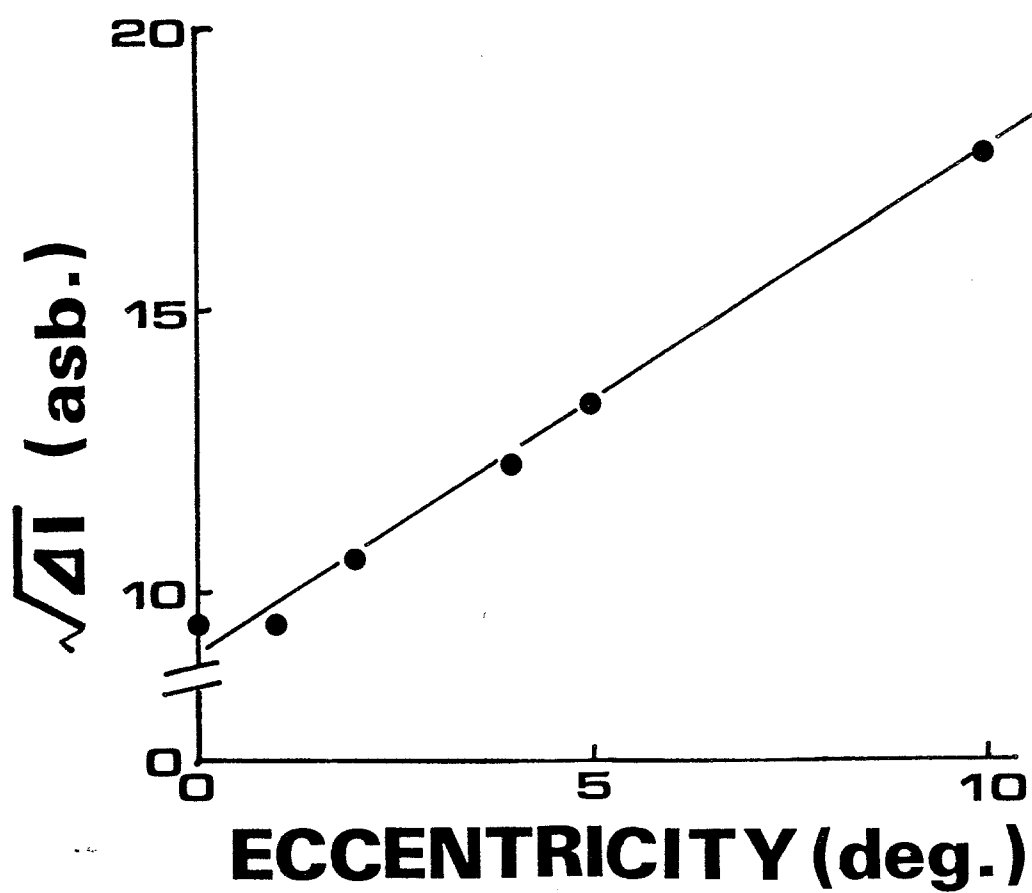


図19. 増分閾の平方根と網膜偏心度の関係。直径3.1'の視標を用いた。

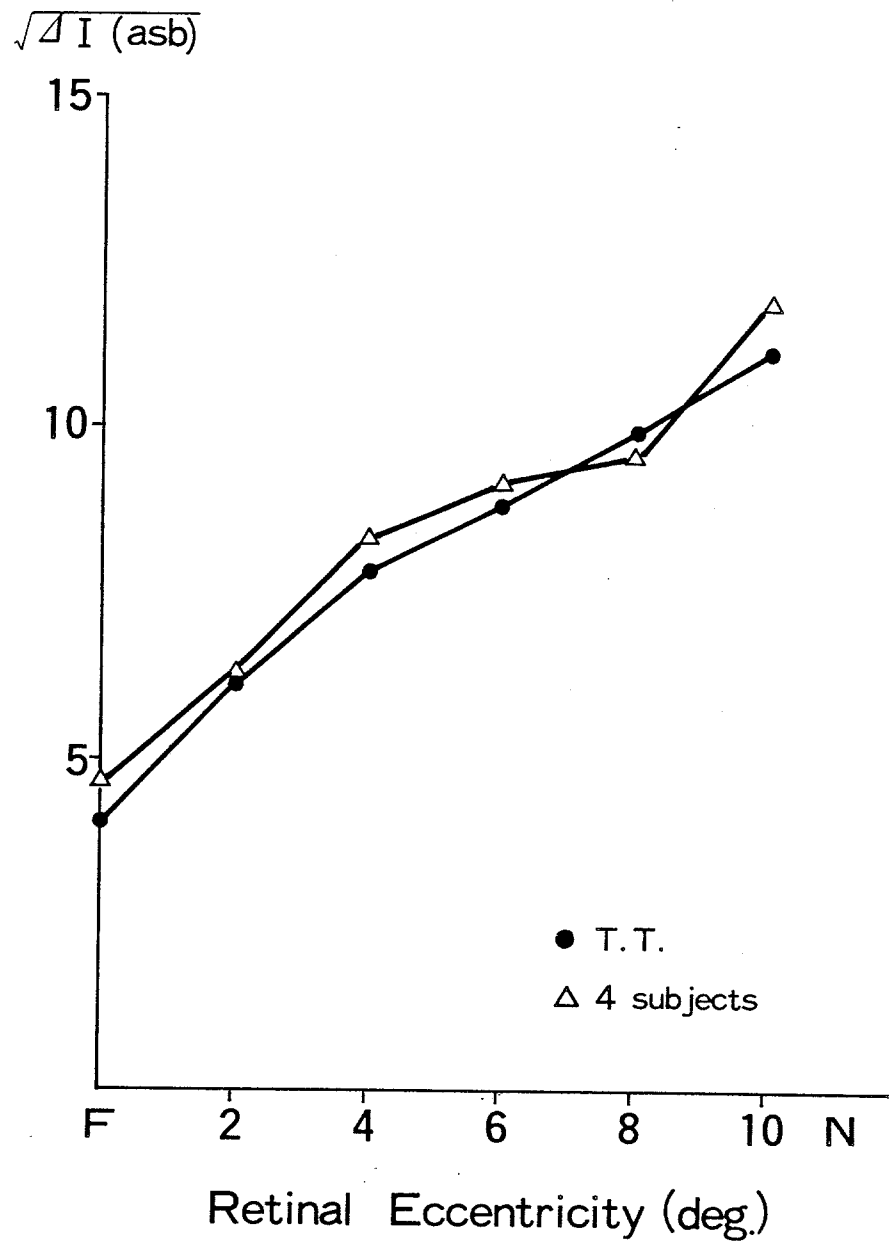


図20、増分閾の平方根と網膜偏心率の関係。直径4'の視標を用いた。

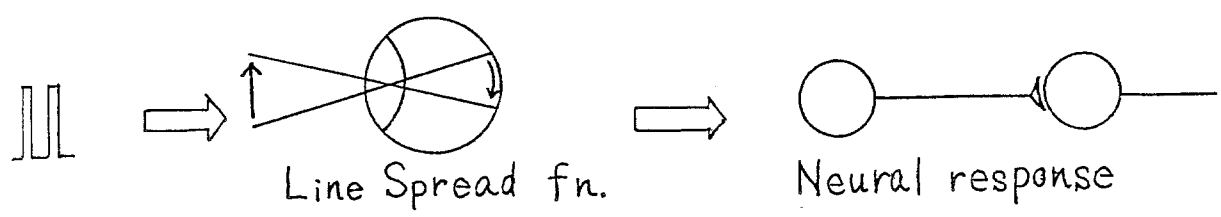


図21 . 受容野中心と2点分離閾との関係

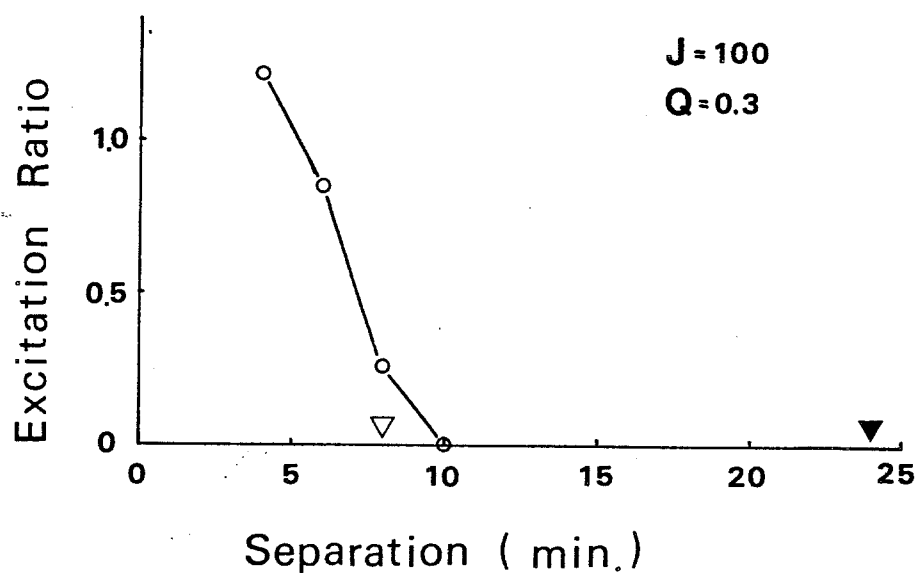
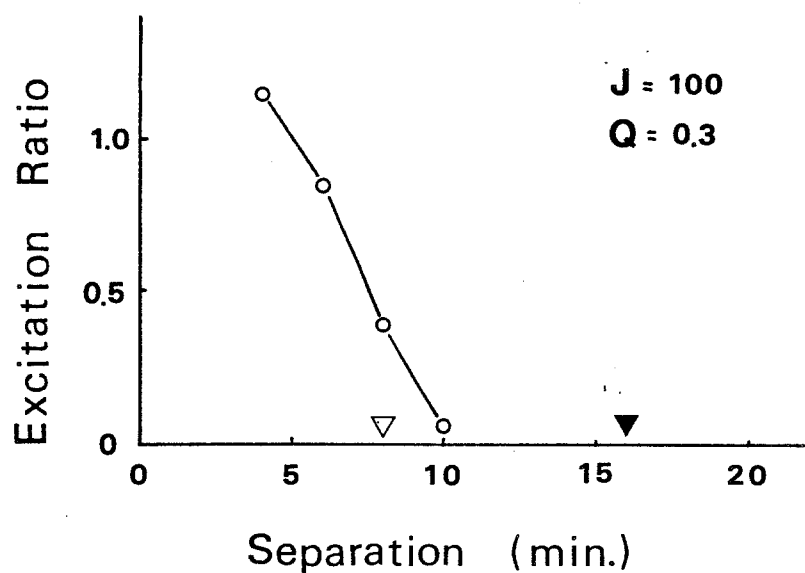


図22-a. 2点間の距離と興奮比の関係。

興奮比は、2点の中央の活動度と各点に対する活動度の比である。QはFig1に示されたように、抑制性感度の最大値を示す。Jは点の輝度に対応するパラメータである。図中の白三角(▽)は20Eすなわち受容野中心の直径を示し、黒三角(▼)は20Eすなわち受容野周辺の直径を示している。図から明らかのように、興奮比は周辺の大きさによらず、2点間距離が受容野中心の直径より小さくなると上昇する。θ=0とした。

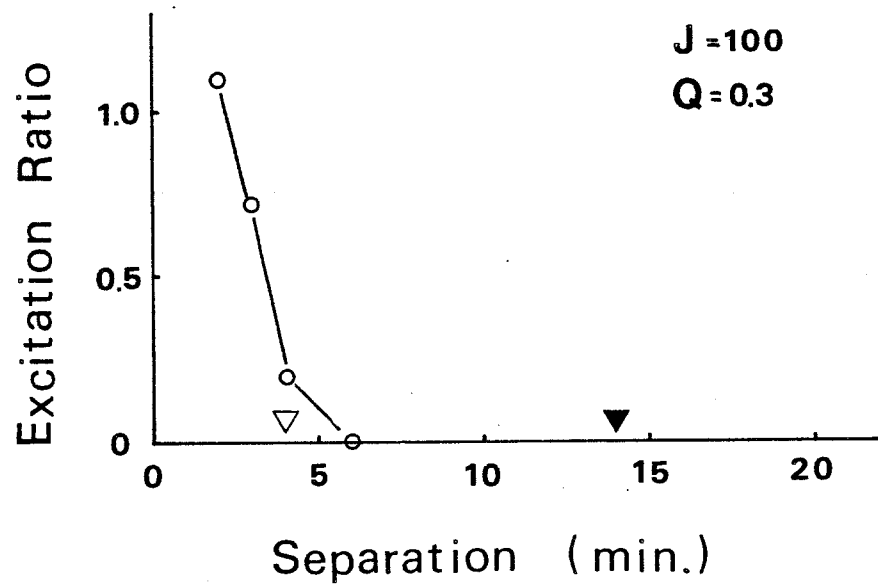
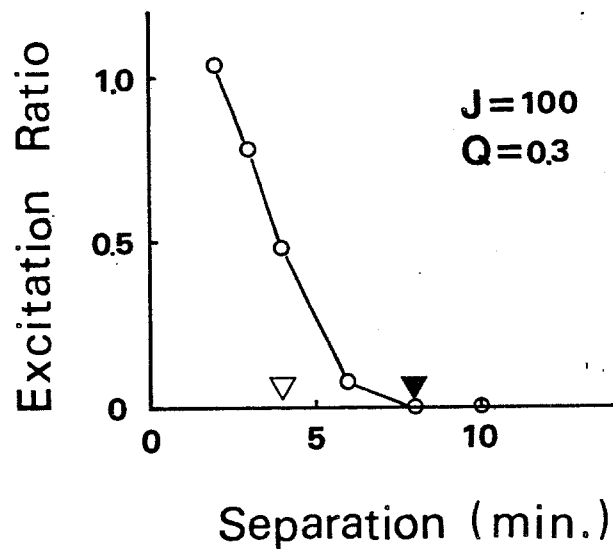


図 22-b . 2 点間の距離と興奮比の関係。



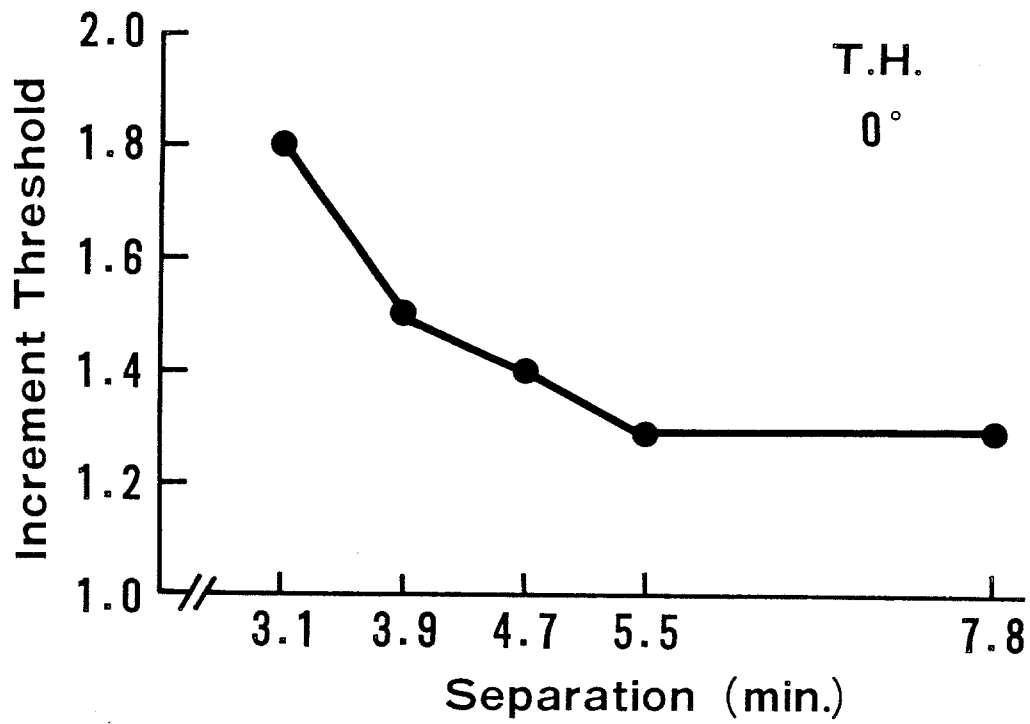


図23-a、 2点間距離と2点に分離して知覚されるのに必要の増分閾の関係。図中の数字は網膜偏心度を示す。

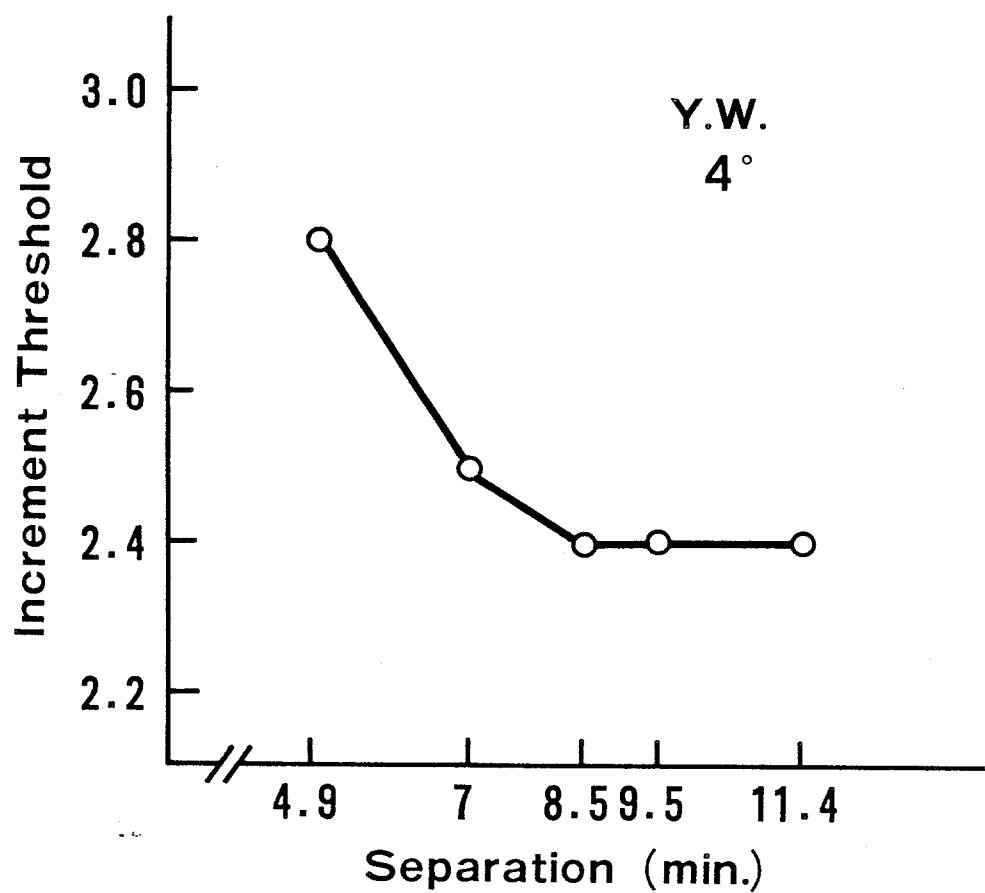


図23-b. 2点間距離と2点に分離して知覚されるのに必要の増分閾の関係。図中の数字は網膜偏心度を示す。

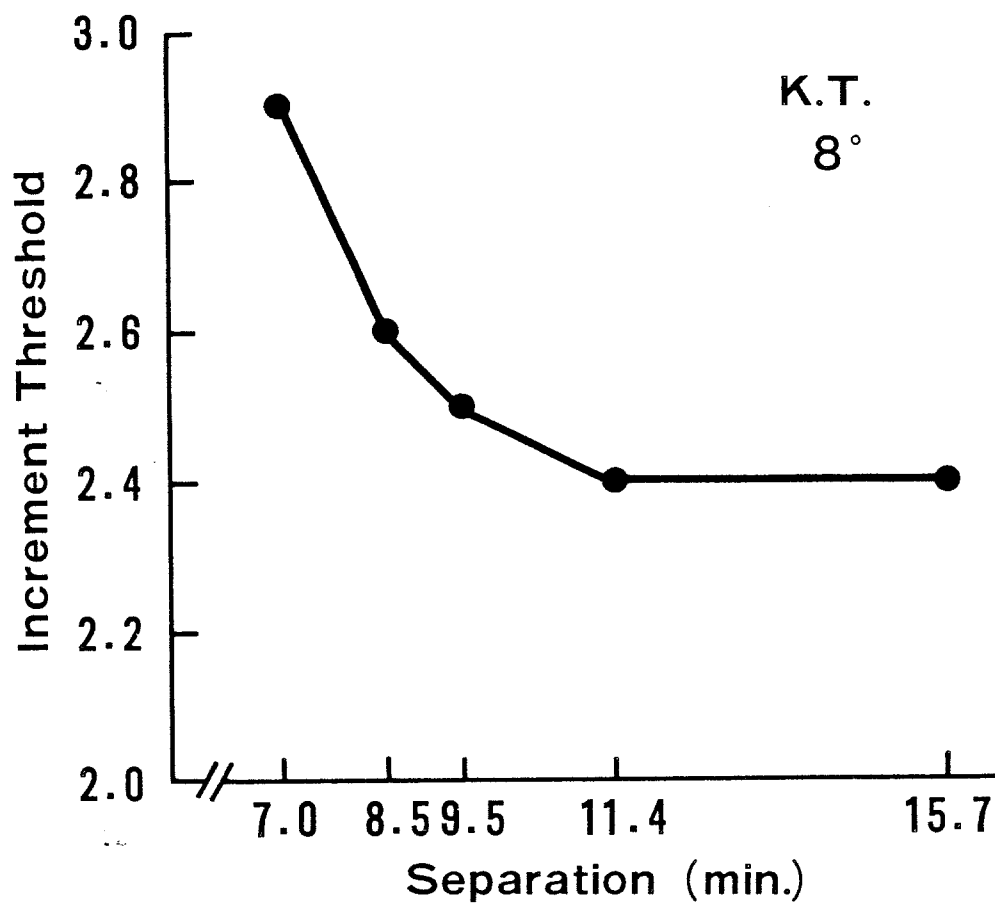


図23-C、2点間距離と2点に分離して知覚させるのに必要の増分閾の関係。図中の数字は網膜偏心度を示す。

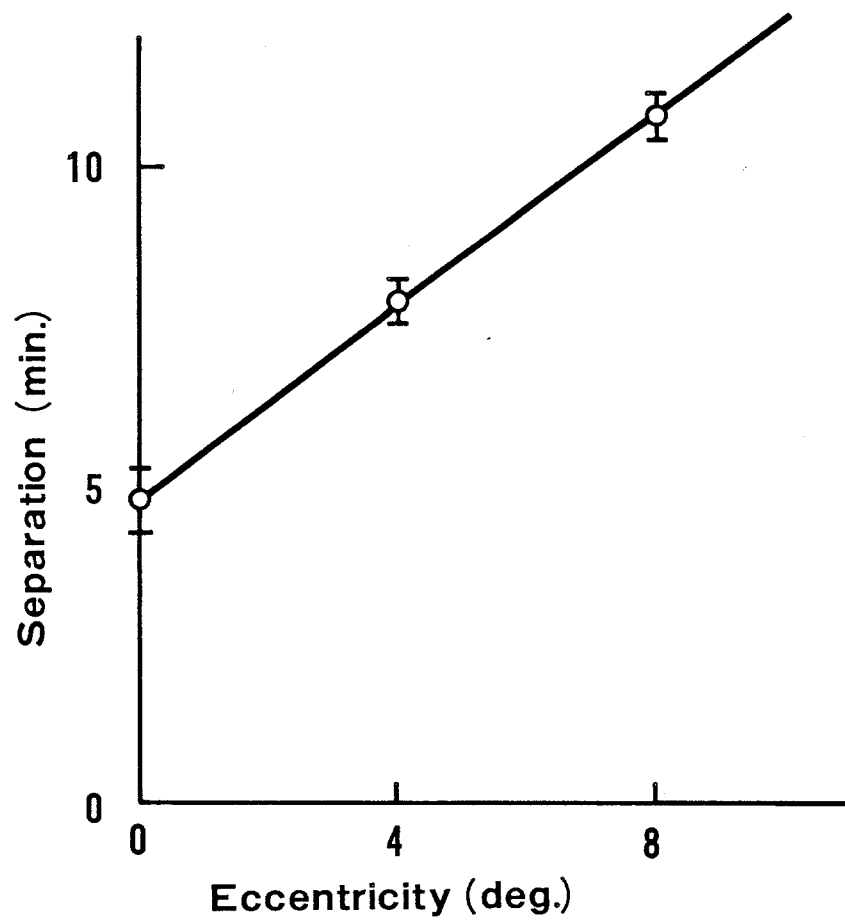


図24. 2点間距離の臨界値と網膜偏心率の関係。

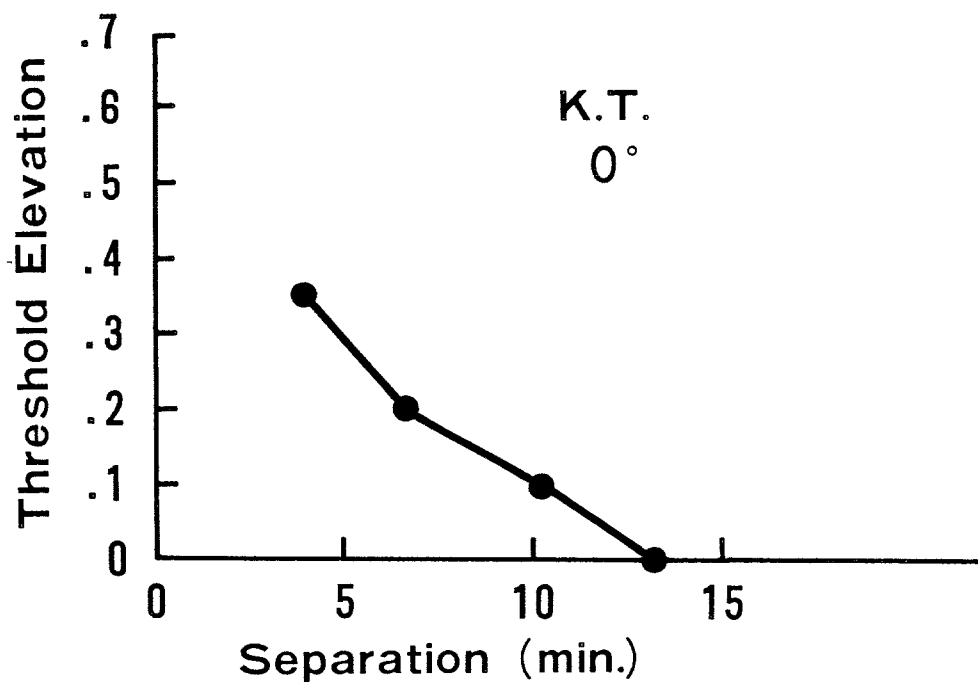


図 25-a. 抑制刺激の線間隔と閾上昇値の  
関係。図中の数字は網膜偏心度  
を示す。

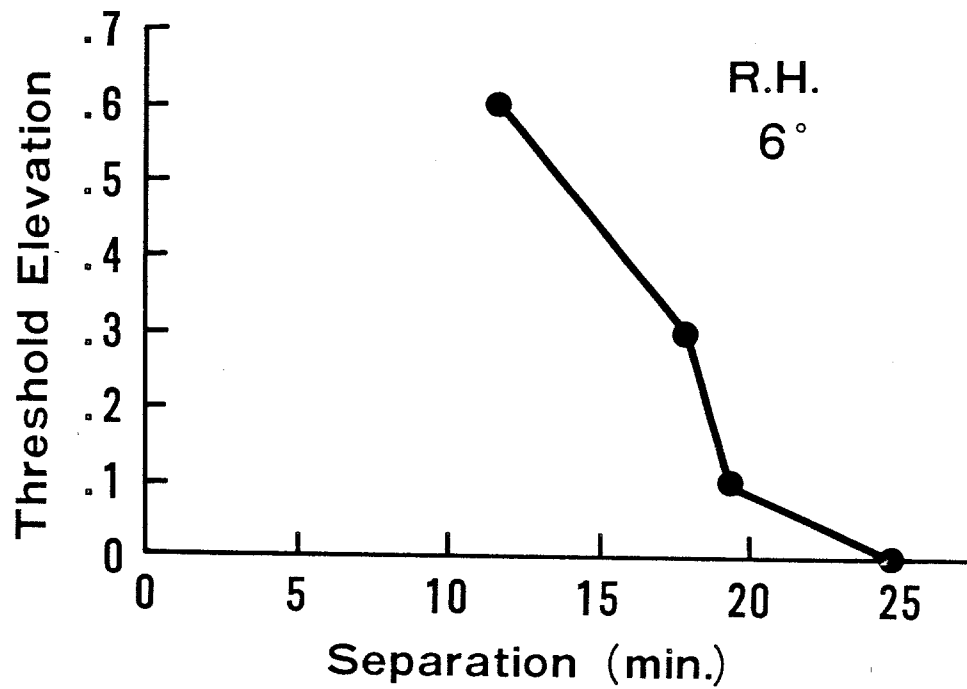


図25-b. 抑制刺激の線間隔と閾上昇値の  
関係。図中の数字は網膜偏心度  
を示す。

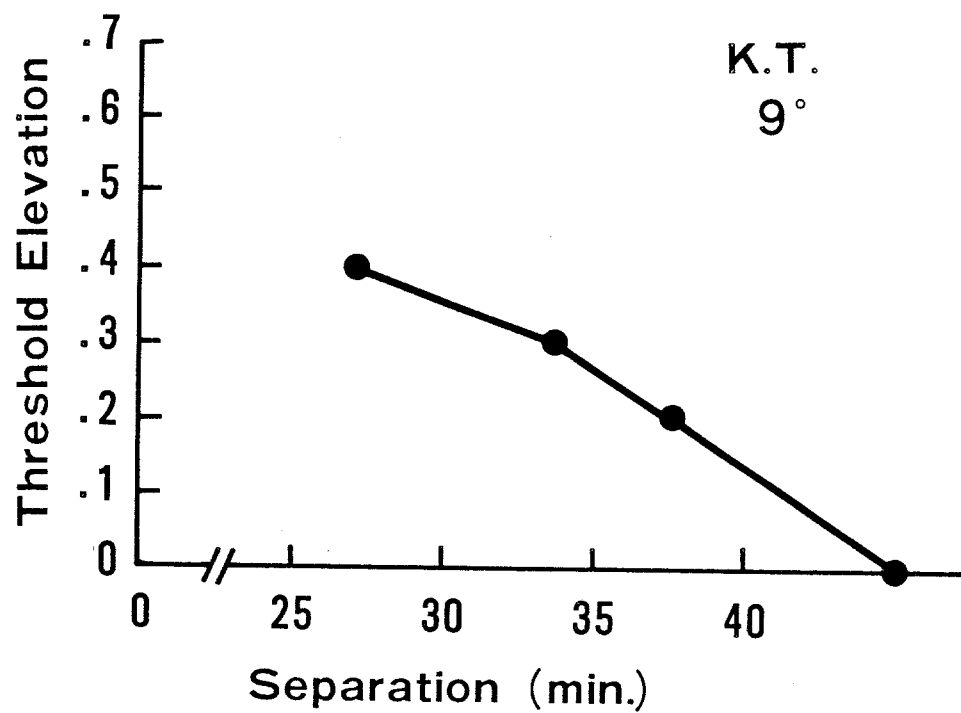


図 25-C. 抑制刺激の線間隔と閾上昇値の  
関係。図中の数字は網膜偏心度  
を示す。

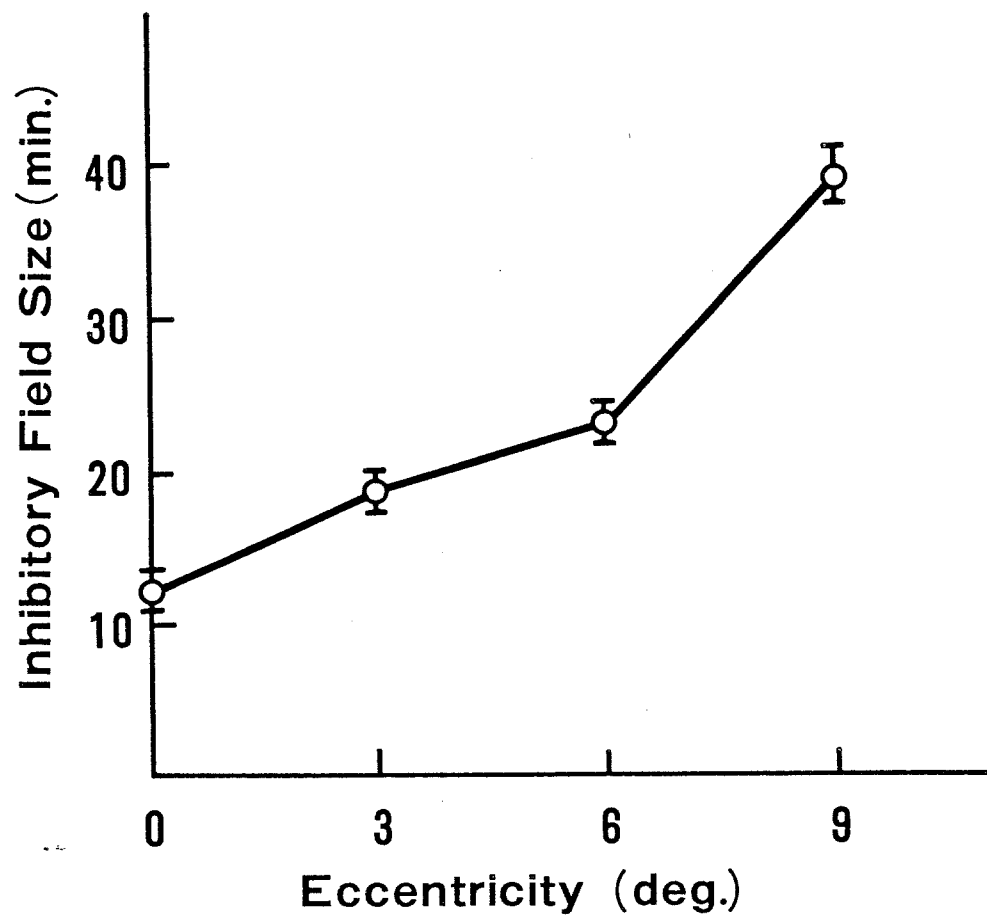


図26. 抑制野の直径と網膜偏心度の関係。



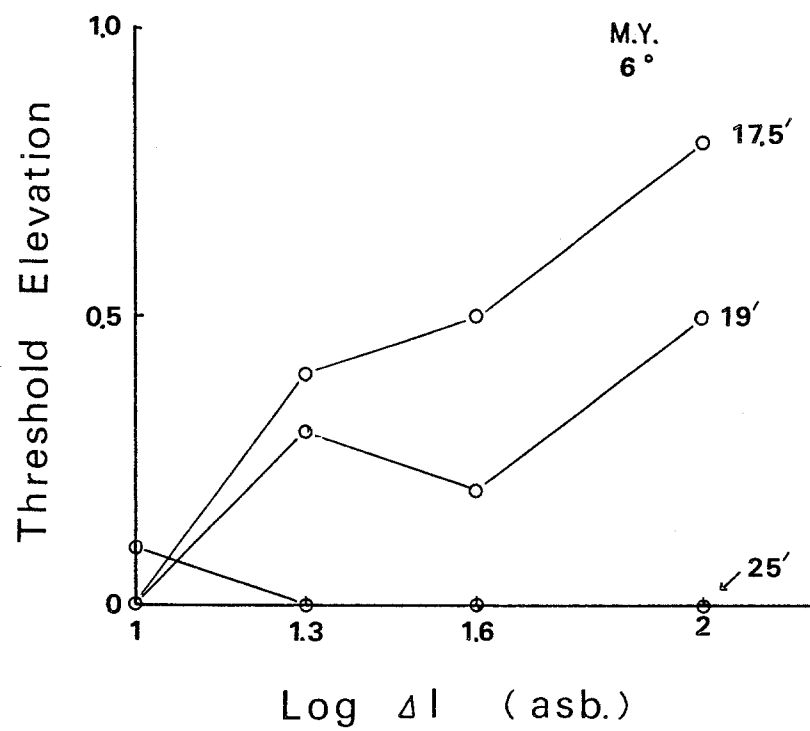


図27. 抑制刺激の輝度と閾上昇値の関係。  
 図中の数字は抑制刺激の線間隔を  
 示す。

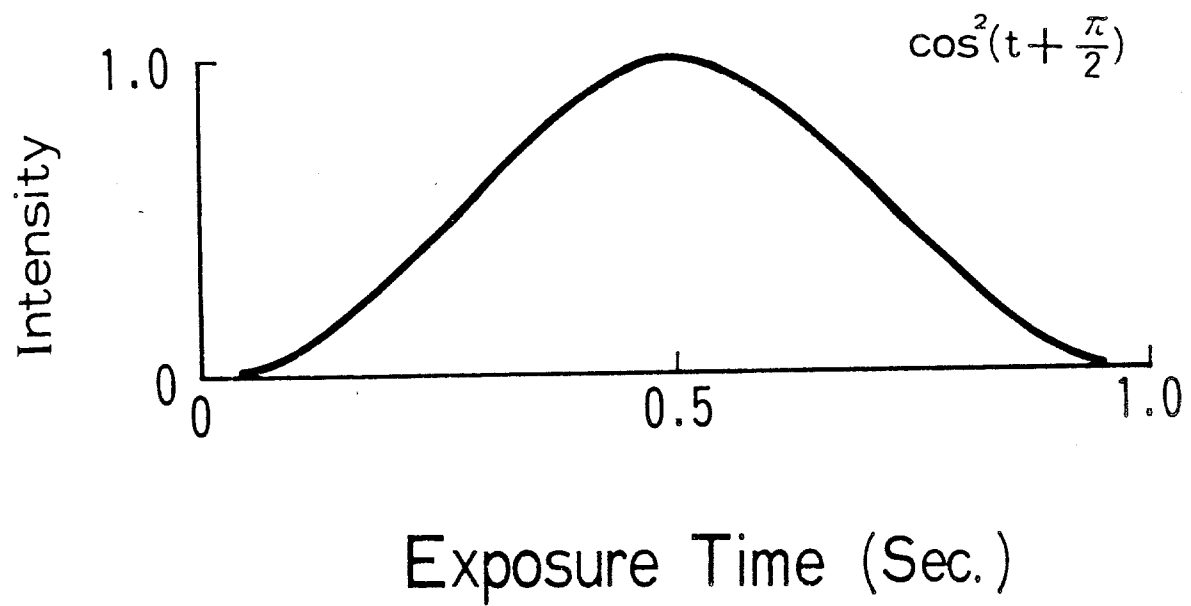


図 28 . S 提示条件での刺激光輝度の変化

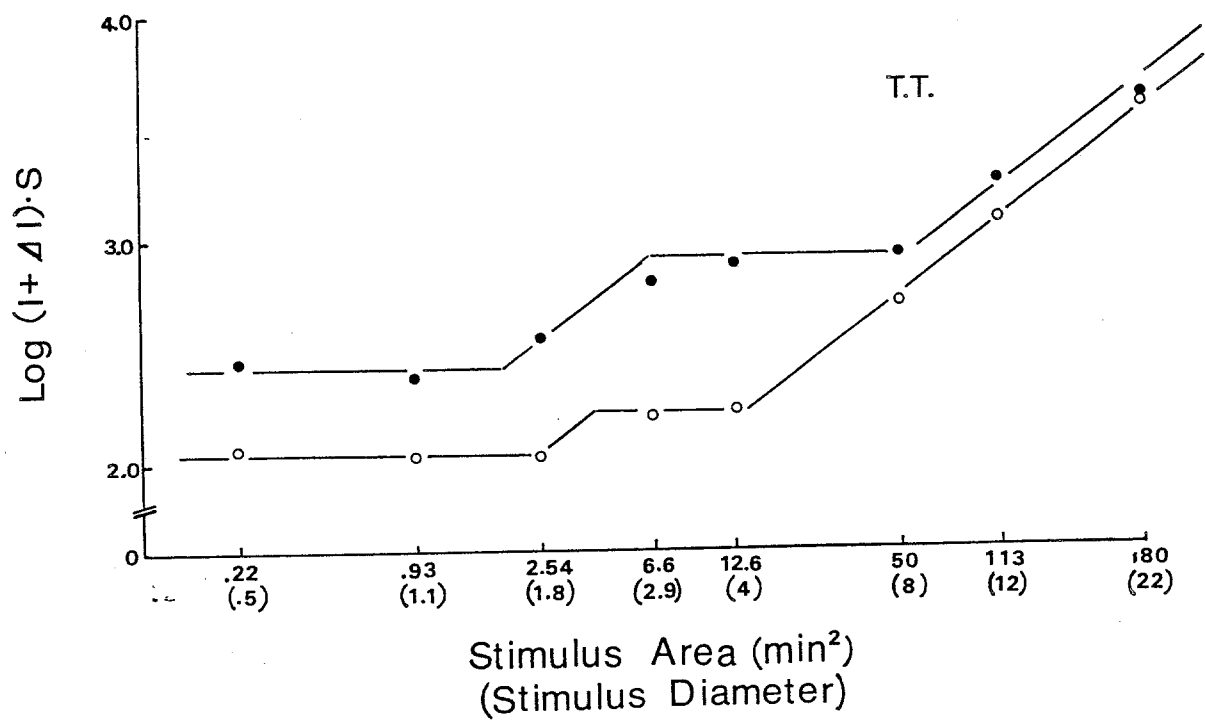


図29 . S提示条件で得られた閾エネルギーと視標面積の関係。図中の数字は視標の提示位置を示す。

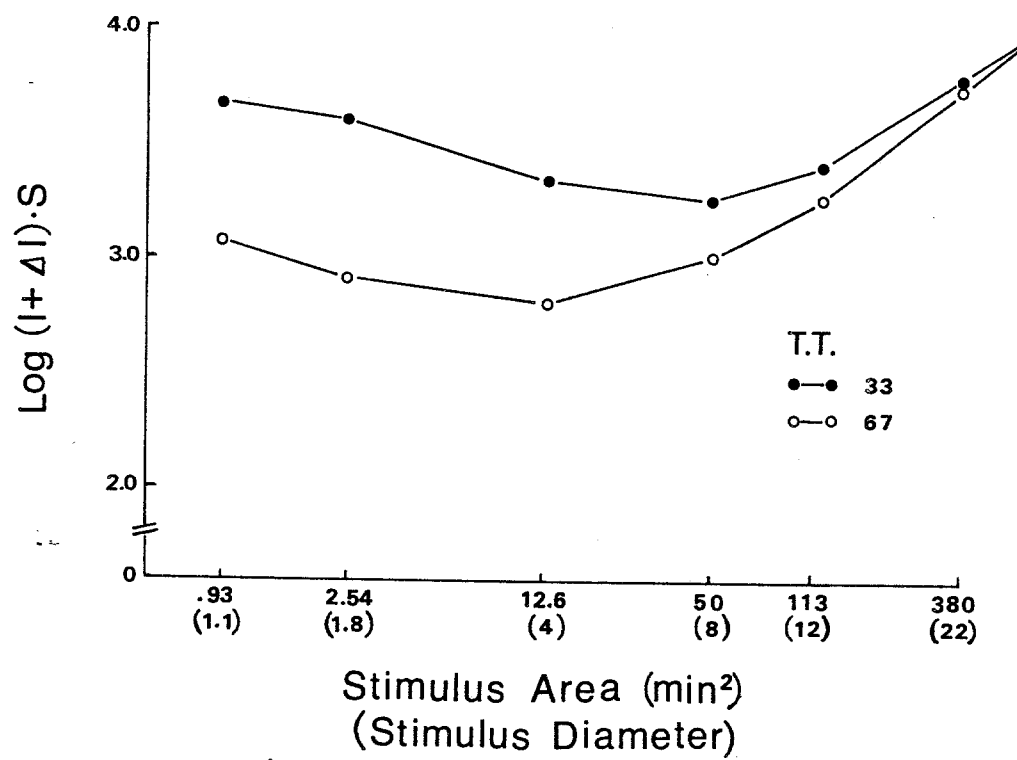


図30. T提示条件における閾エネルギーと刺激面積の関係。

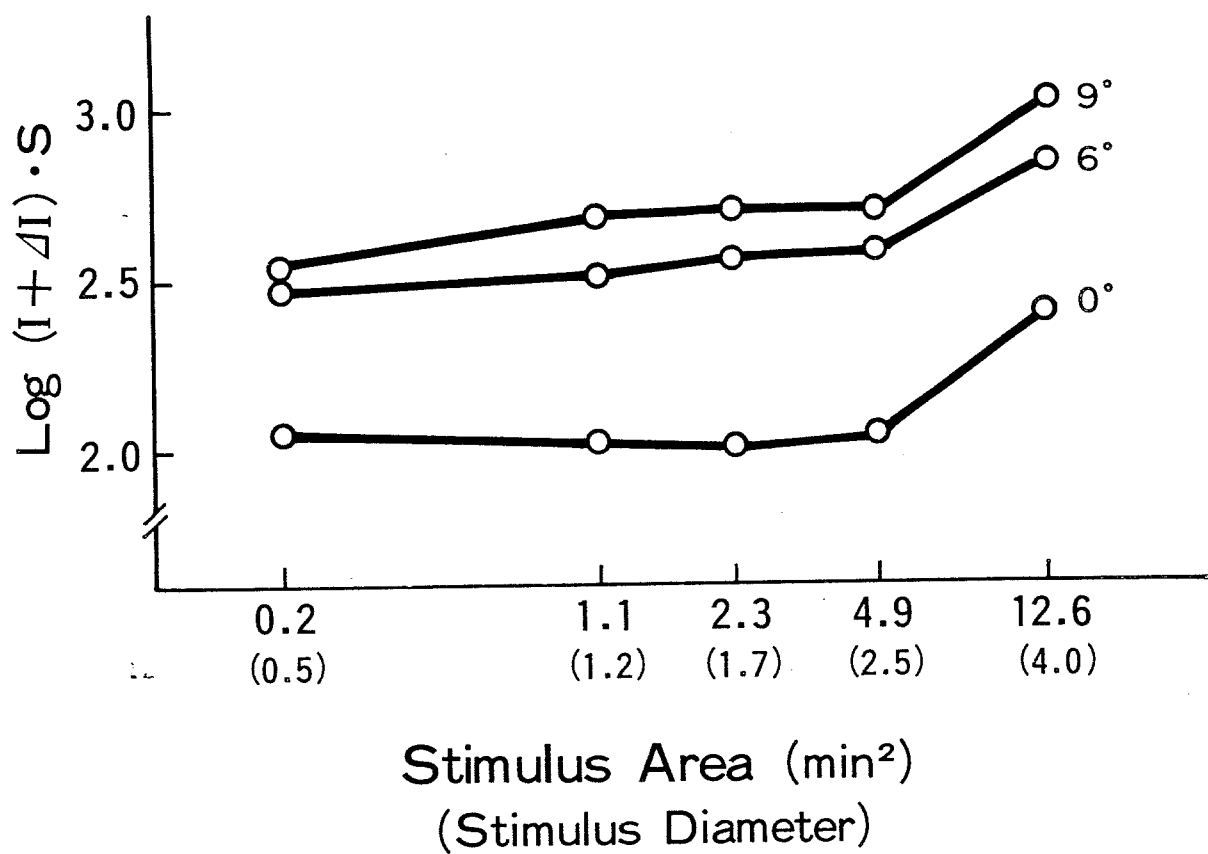


図31 . S提示条件で得られた閾エネルギーと視標面積の関係。図中の数字は視標の提示位置を示す。

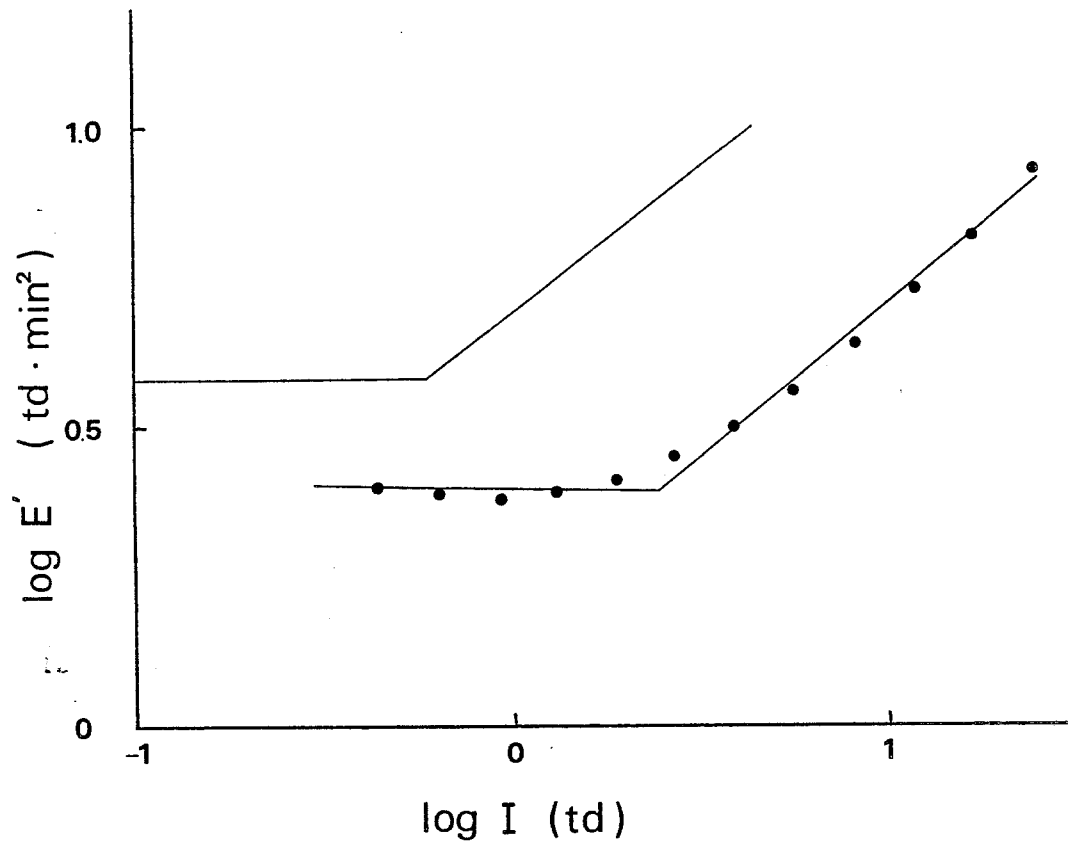


図32 順応レベル（網膜照度）と  
閾エネルギーの関係。黒丸  
は視力のデータを示す。左  
のデータは Glezer (1970) のものである。

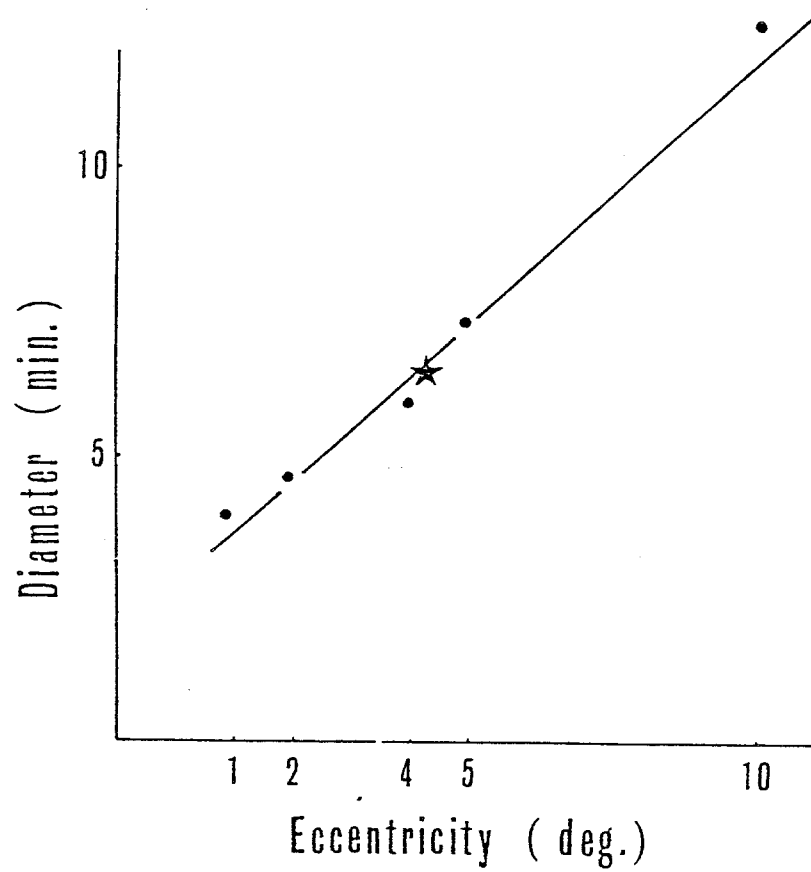


図33. 網膜偏心度と受容野直径の関係。被験者 H. K. のデータ。

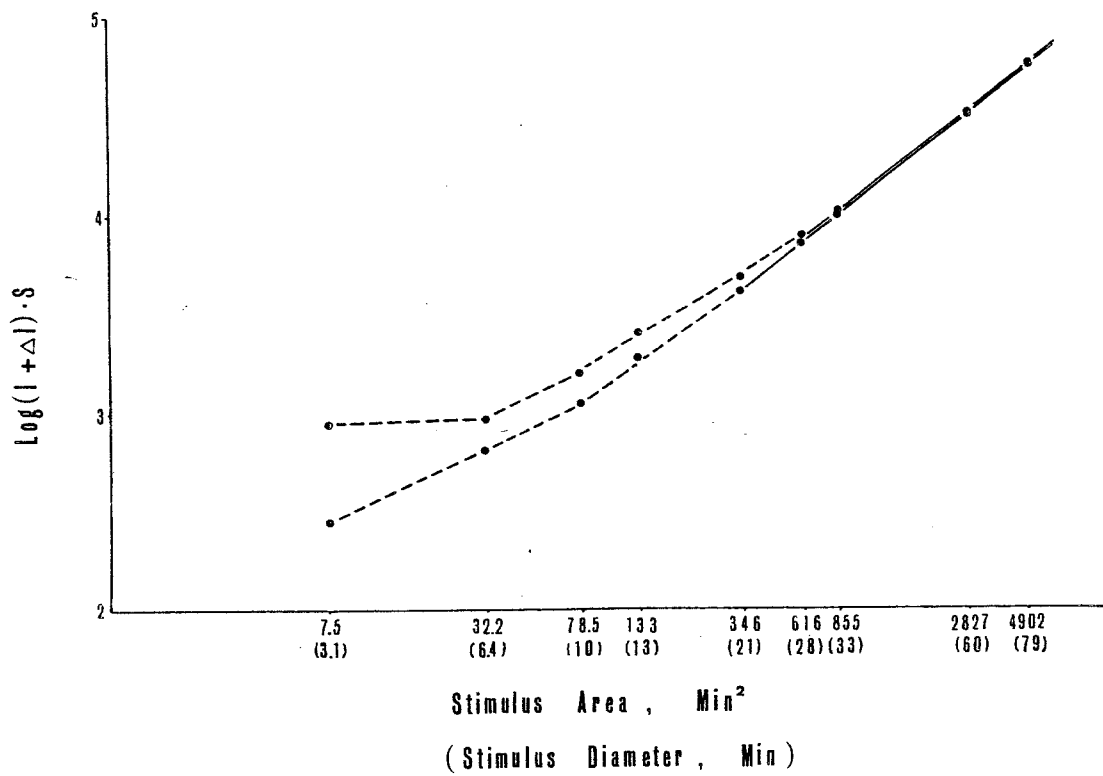


図34. 弱視眼(上)と健眼(下)の中心窩における閾エネルギーと刺激面積の関係。  
被験者 M.H. のデータ。



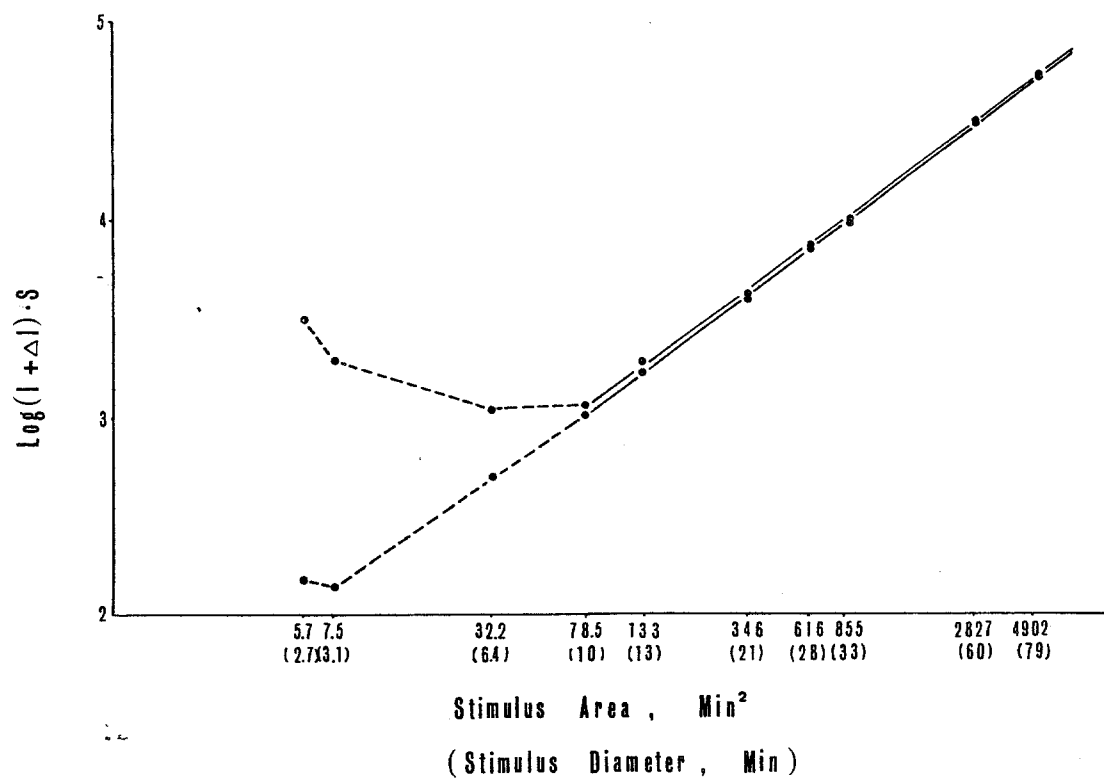


図35 弱視眼(上)と健眼(下)の中心窩における閾エネルギーと刺激面積の関係。  
被験者 J.K. のデータ。

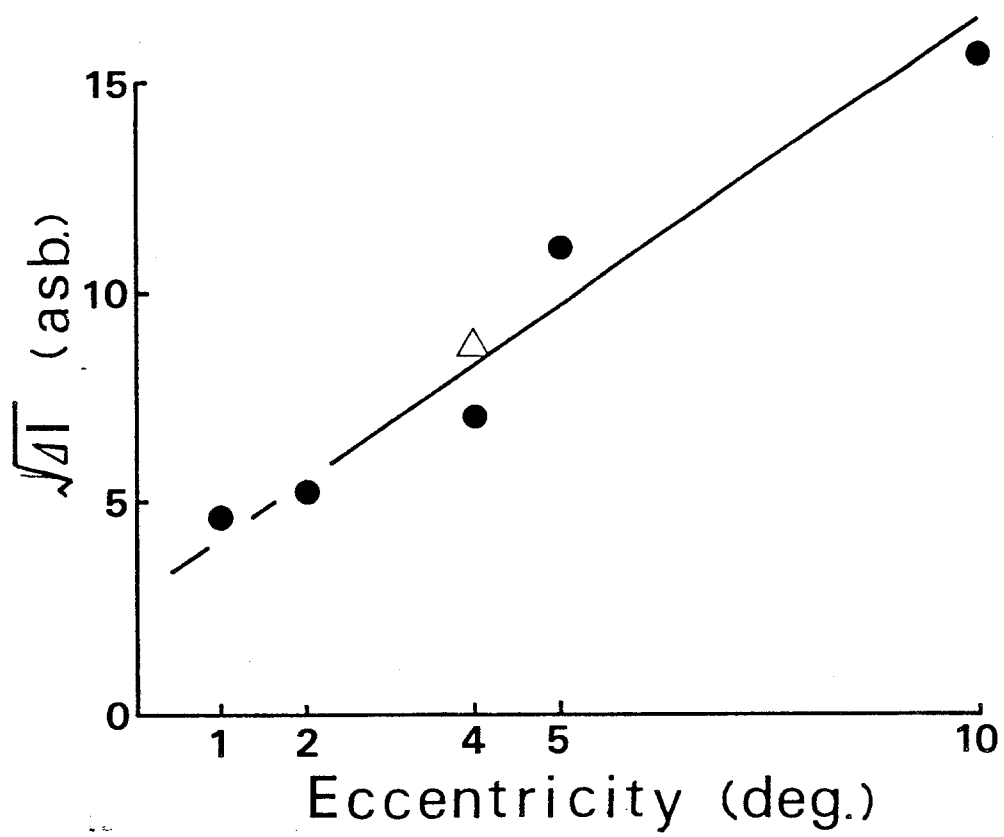


図36. 増分関の平方根と偏心率の関係  
三角印は偏心固視部位のデータを  
示す。

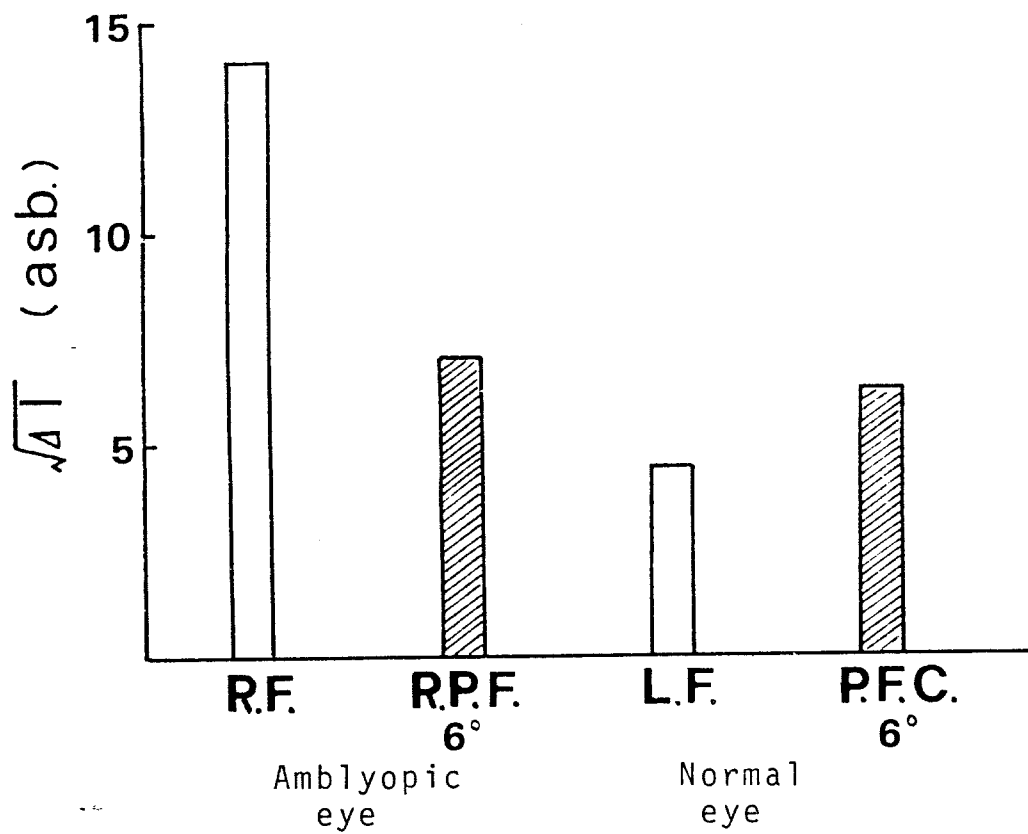


図37 . 網膜各部位における増分閾の平方根。RFは右眼の中心窩、RPFは右眼の偏心固視部位、LFは左眼の中心窩、PFCは偏心固視点に対応する部位を示す。

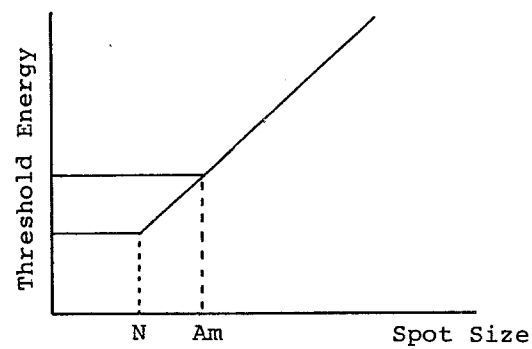
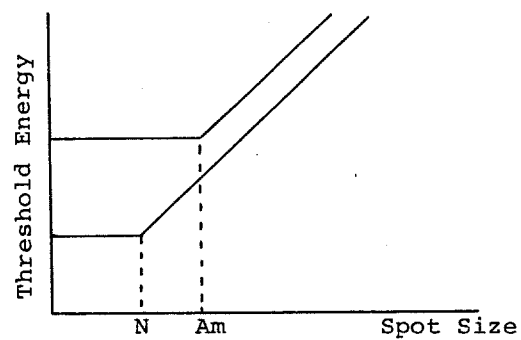


図38. 弱視眼および健眼の中心窩（それぞれ  $A_m$ ,  $N$  と示す）における閾値面積曲線

(a)



(b)

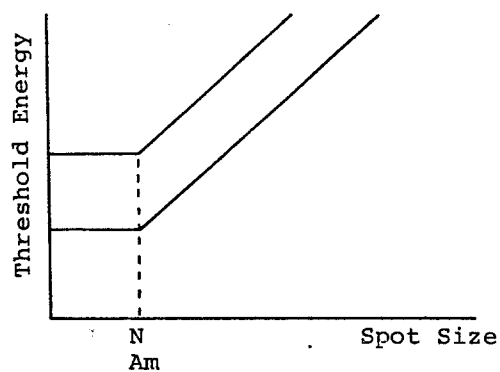


図39 . 弱視眼および健眼の中心窩（それぞれ  $A_m$ ,  $N$  と示す）における閾値—面積曲線

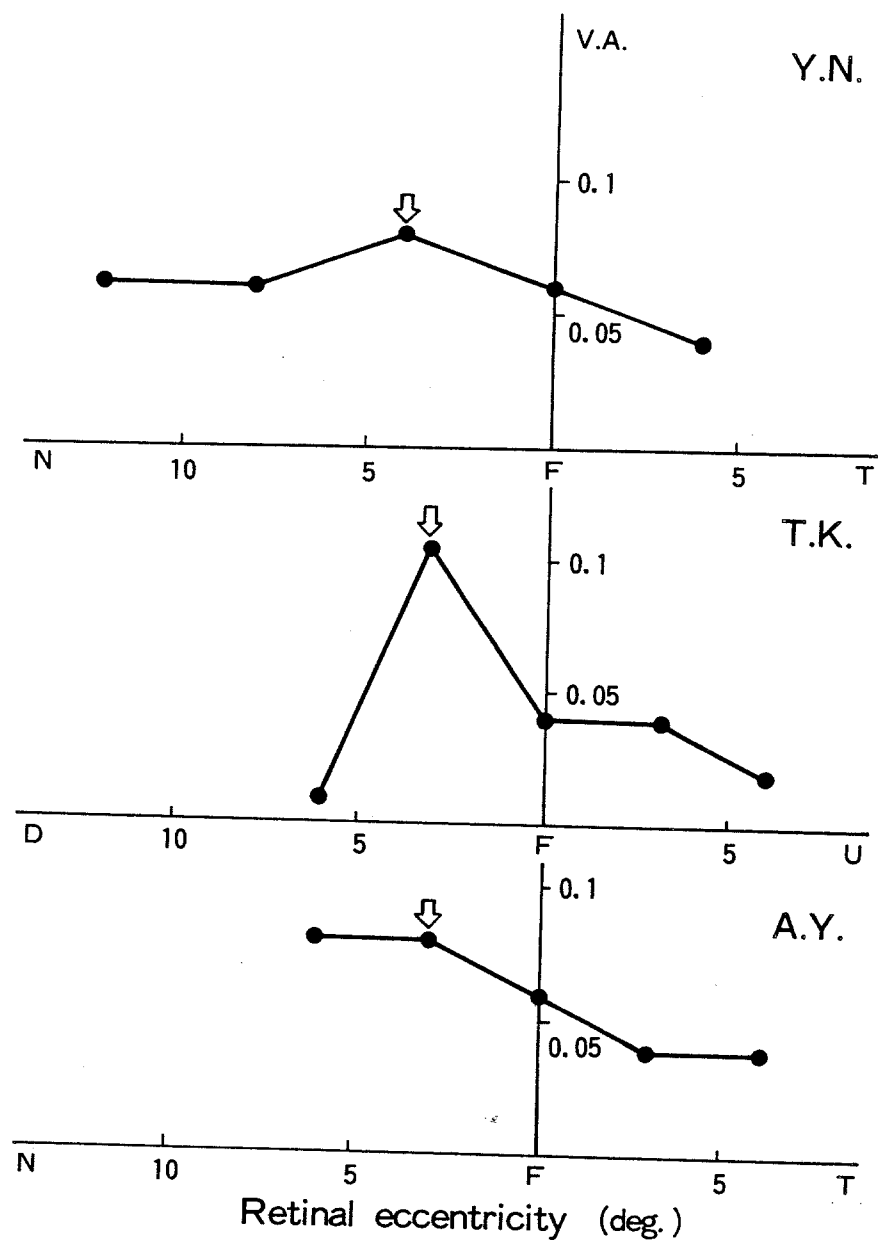


図40 . 偏心固視眼における視力

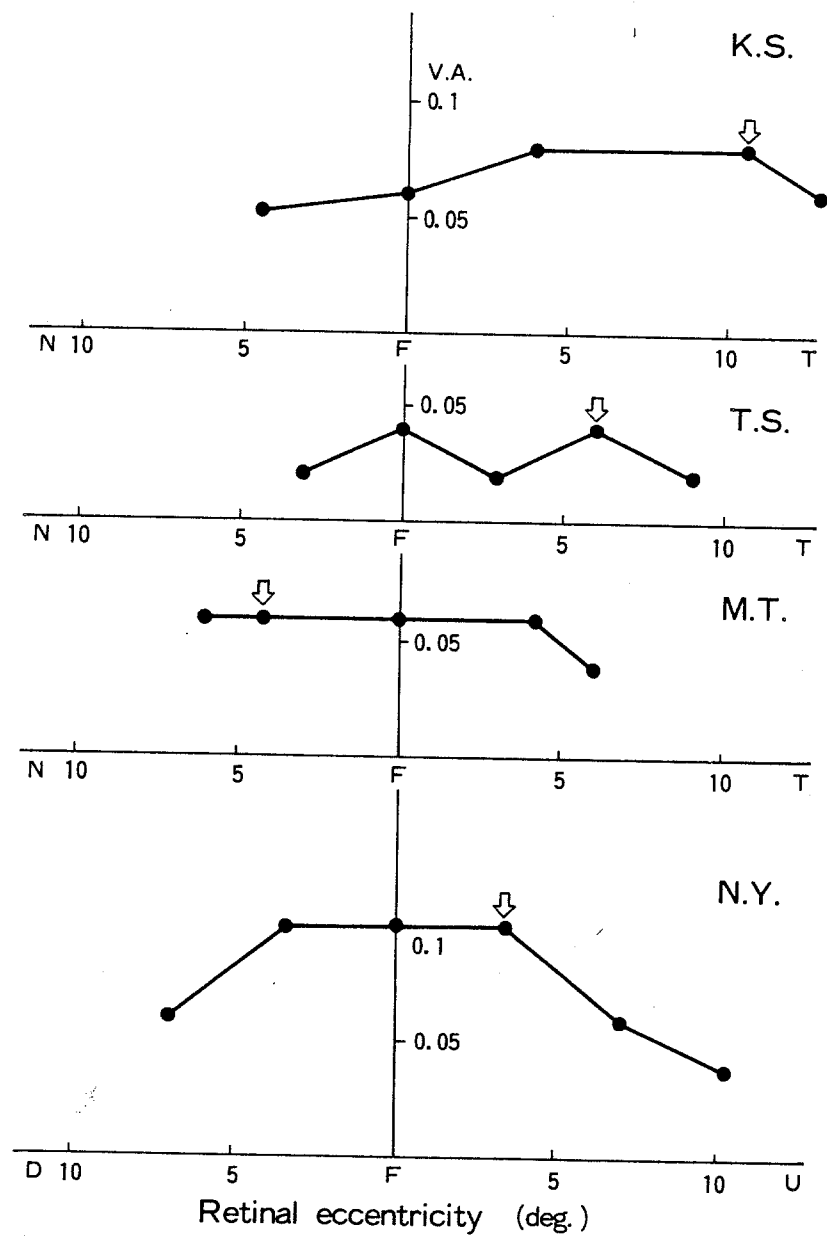


図41 . 偏心固視眼における視力

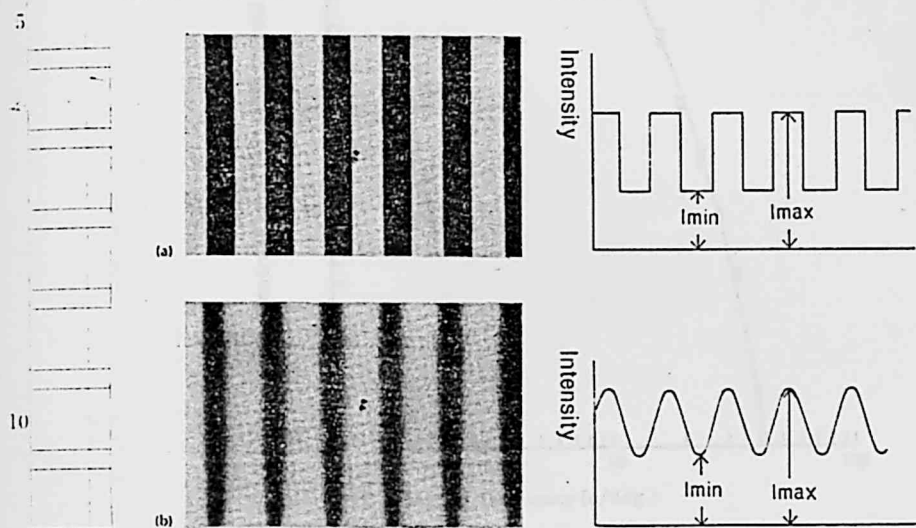


図42. ディスプレーに提示された矩形波格子と正弦波格子とその輝度分布。



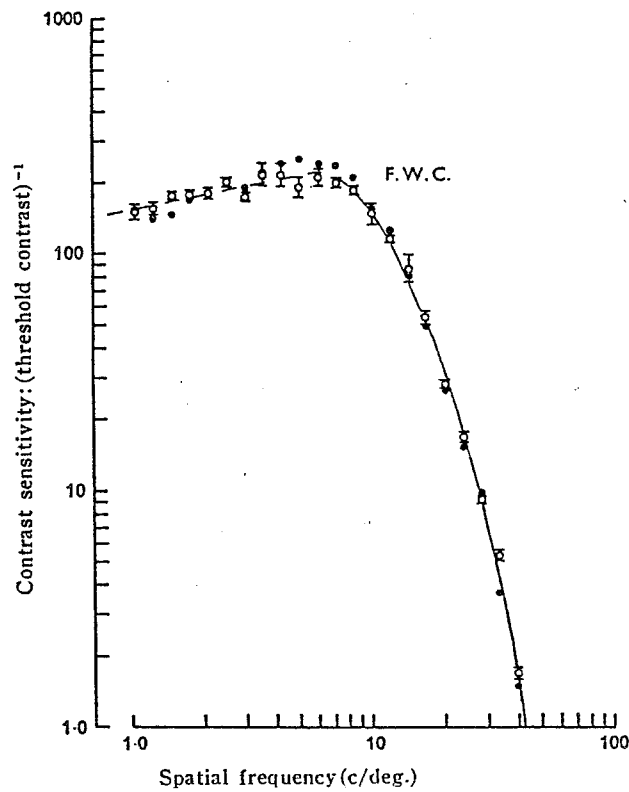


図 43. . 空間周波数応答特性。被験者 F.W. Campbell のデータ。白丸は 6 回の平均値である。黒丸は、別の実験を終えた後に測定した値である (Blakemore & Campbell, 1969)。

図44. 加算平均された視覚誘発  
電位。記録時間17.125 msec  
(Campbell & Maffei, 1970).

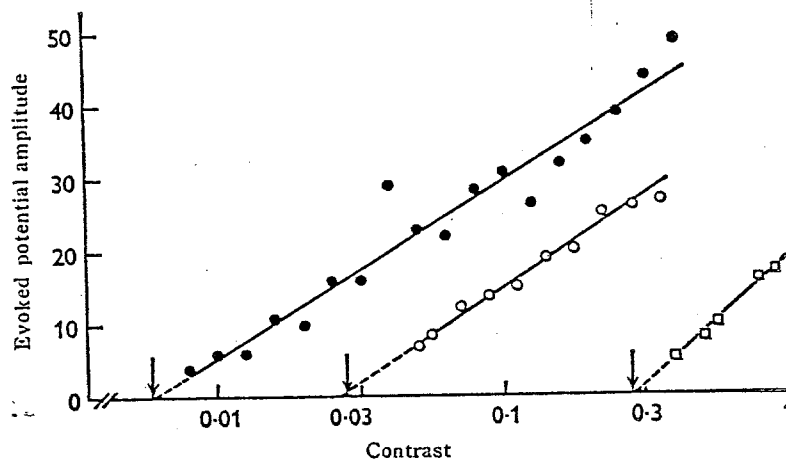
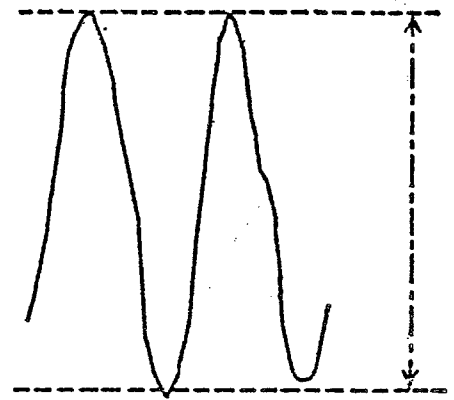


図45. 加算平均された視覚誘発電位と刺激格子のコントラスト。矢印は、心理  
物理学的手法により決定されたコントラスト閾である

(Campbell & Maffei, 1970).

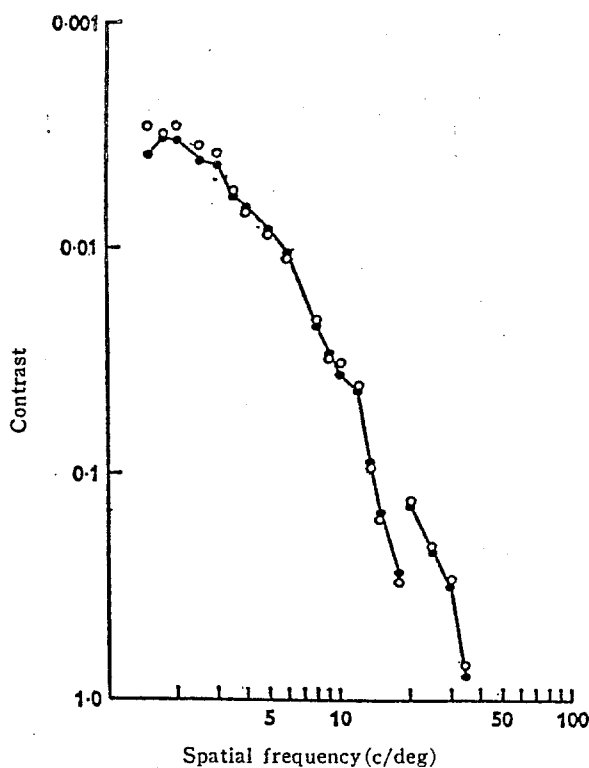


図46. 視覚誘発電位により得られた空間  
周波数応答特性。白丸は、心理物理  
学的測定により得られたデータ。左側  
の連続曲線は、平均輝度が9cd/m<sup>2</sup>の  
場合。右側の連続曲線は、平均輝  
度が12cd/m<sup>2</sup>の場合である  
(Campbell & Maffei, 1970).

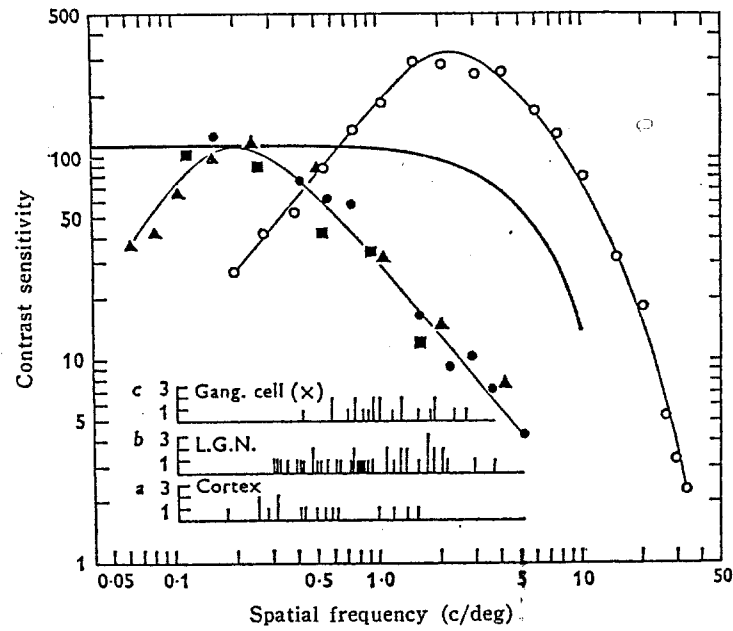


図47. ネコ(3匹)と人間の空間周波数応答特性  
(Campbell et al., 1973)。

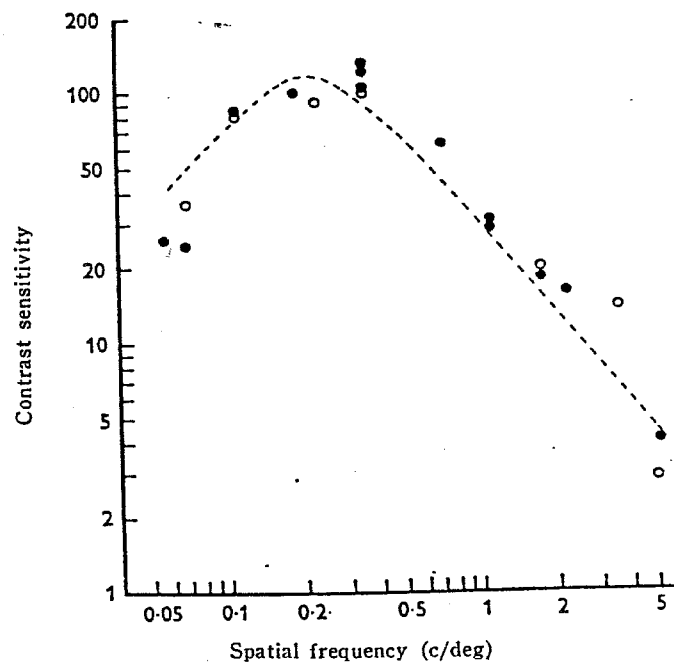
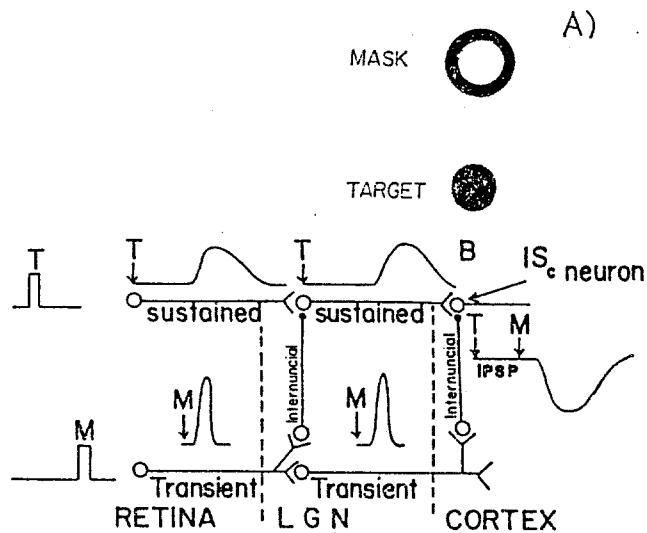


図48. ネコ(2匹)の空間周波数応答特性。破線は、視覚誘  
発電位により決められたネコの空間周波数応答特性  
(Bisti & Maffei, 1974)。



⊗ 49 A). メタコントラストに用いられるマスクパターンとターゲットパターンの1例。B)神経回路モデル。Mはマスクパターンの情報を、Tはターゲットパターンの情報を意味する。(Breitmeyer & Ganz, 1976)。

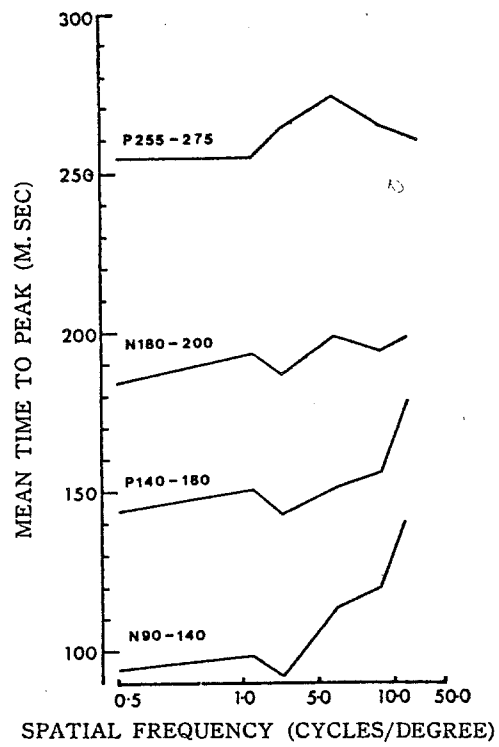


図50. 空間周波数と視覚誘発電位への潜時  
(Parker & Salzen, 1977)。

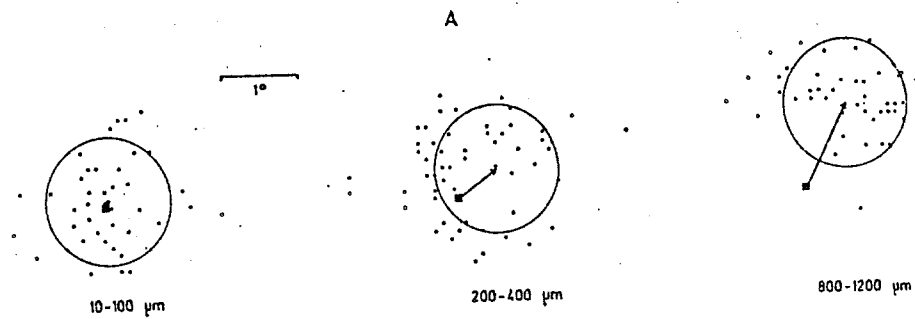
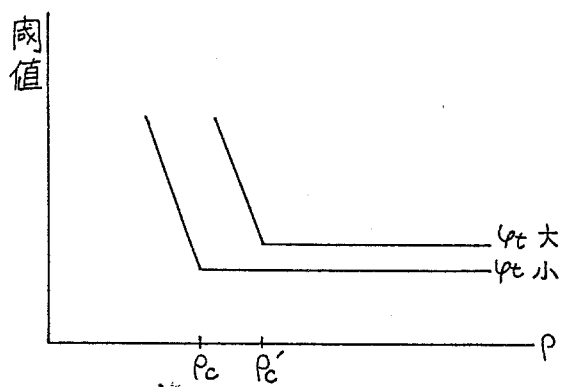
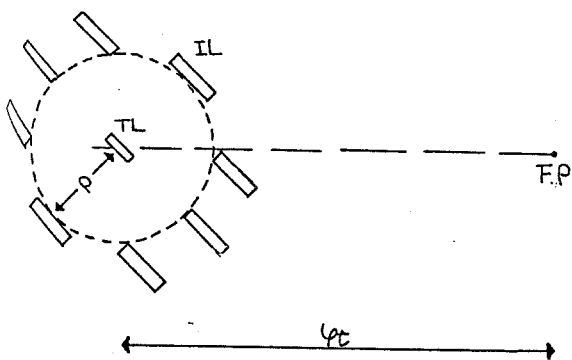


図 51 . 電極の移動距離と受容野の移動との関係。図中の矢印は受容野の平均移動距離を示し円の半径はその標準偏差を示す (Albus, 1975)。



Andriessen and Bouma (1976)

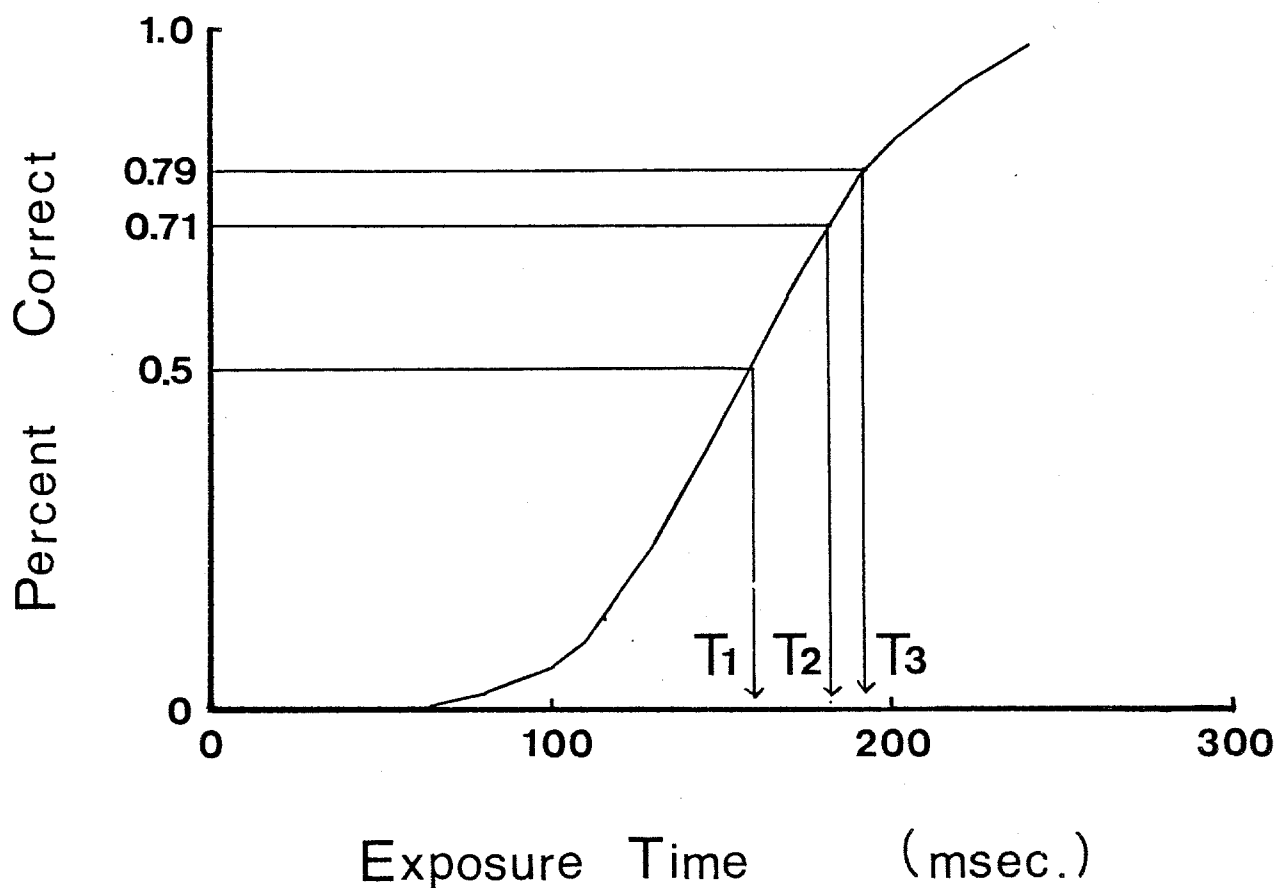
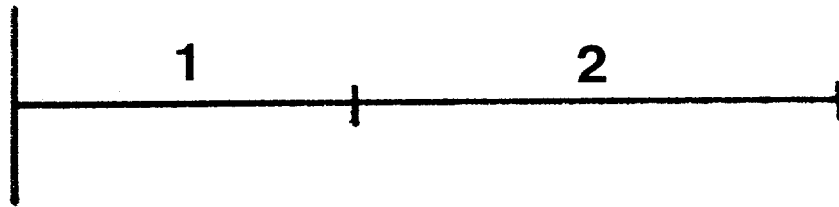


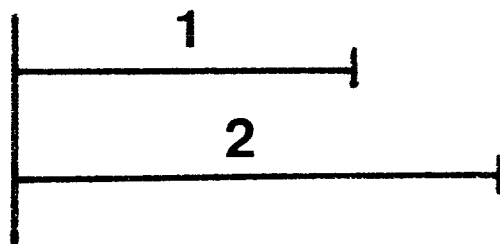
図 53 . I 項目から構成される刺激パターンに対する正答率曲線。 $\sqrt{as}$  の正答率が得られる提示時間  $T_i$  とする



serial processing



parallel processing



overlapping processing

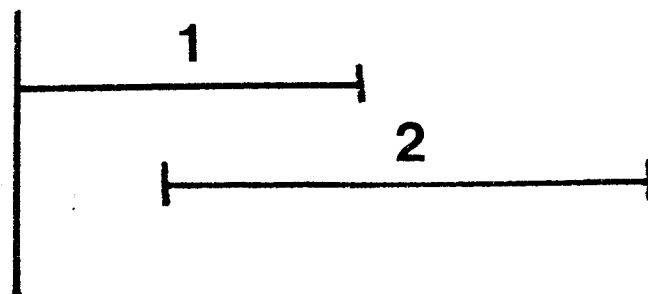


図 54. . 第1項目の処理が終了した後に第2項目の処理が始まる直列処理(a)が2項目が同時に処理される並列処理(定義はTownsend. (1974)およびTaylor. (1976)による)(c)各項目の処理が時間的に重なりあう部分が存在するオーバーラップ処理(Harrisら, 1979)。もし、 $T_i = E_i$ であれば、各項目の処理時間が等しくしかも並列処理であると言える。

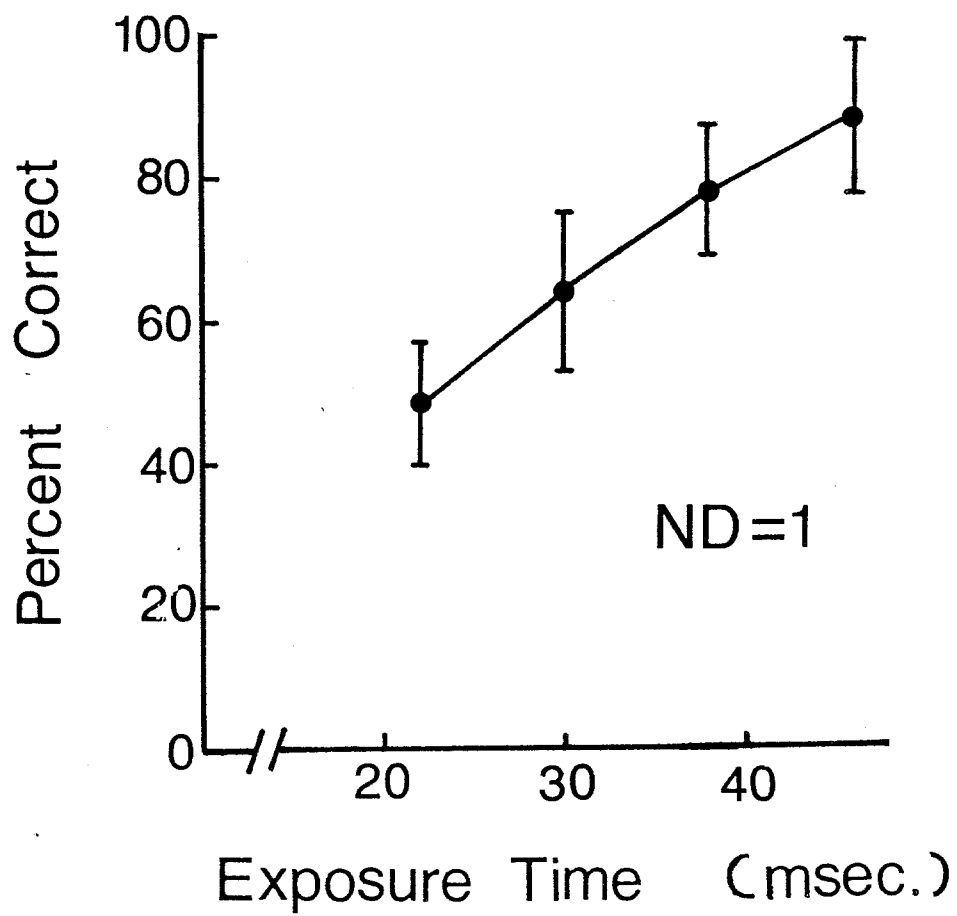


図 55 . ND=1 に対する正答率曲線

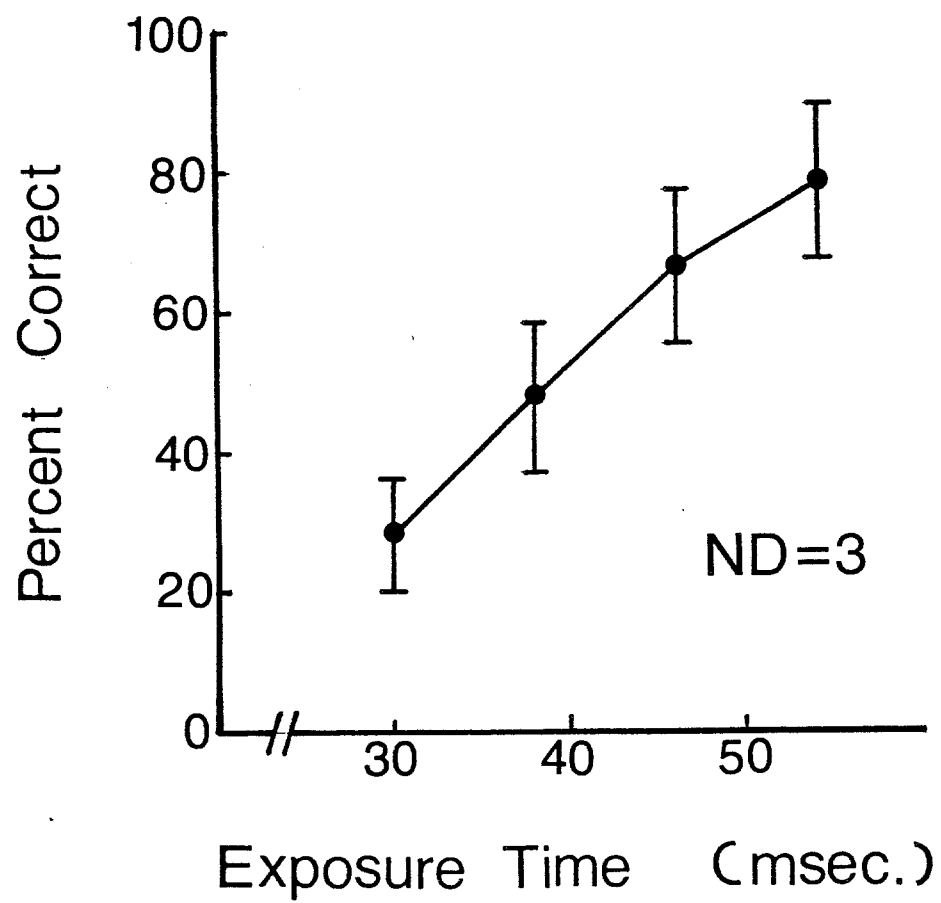


図56 .  $ND = 3$  に対する正答率曲線

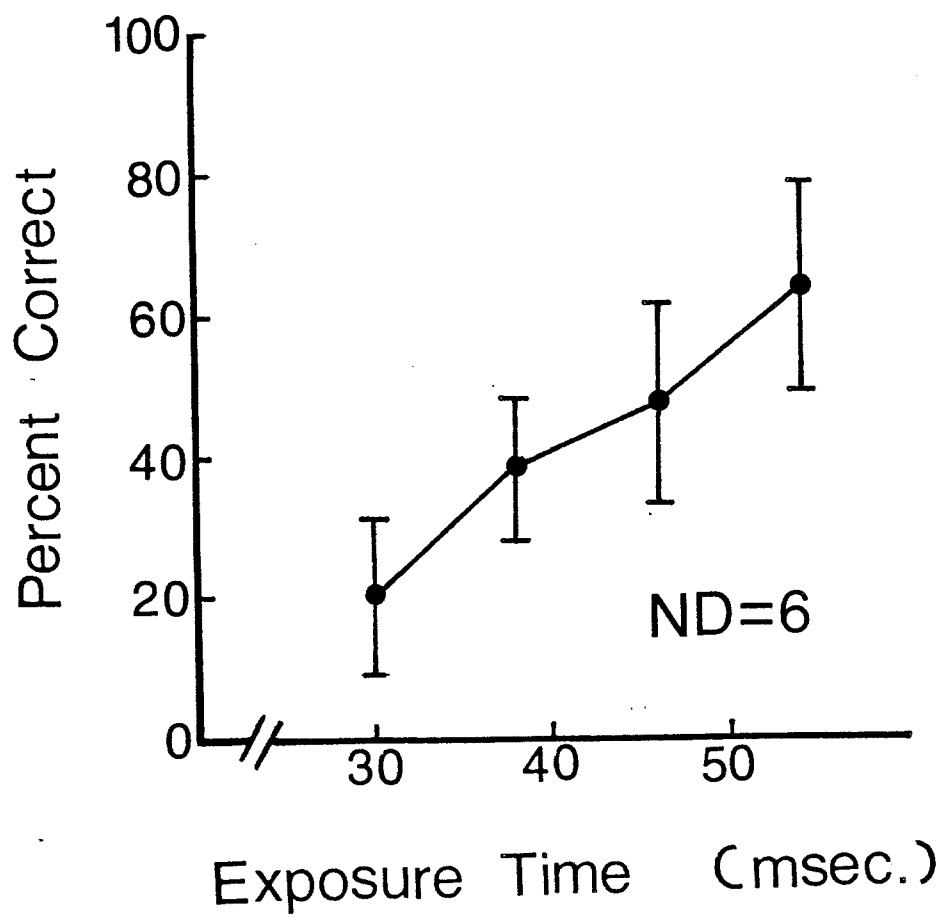


図57 . ND=6に対する正答率曲線

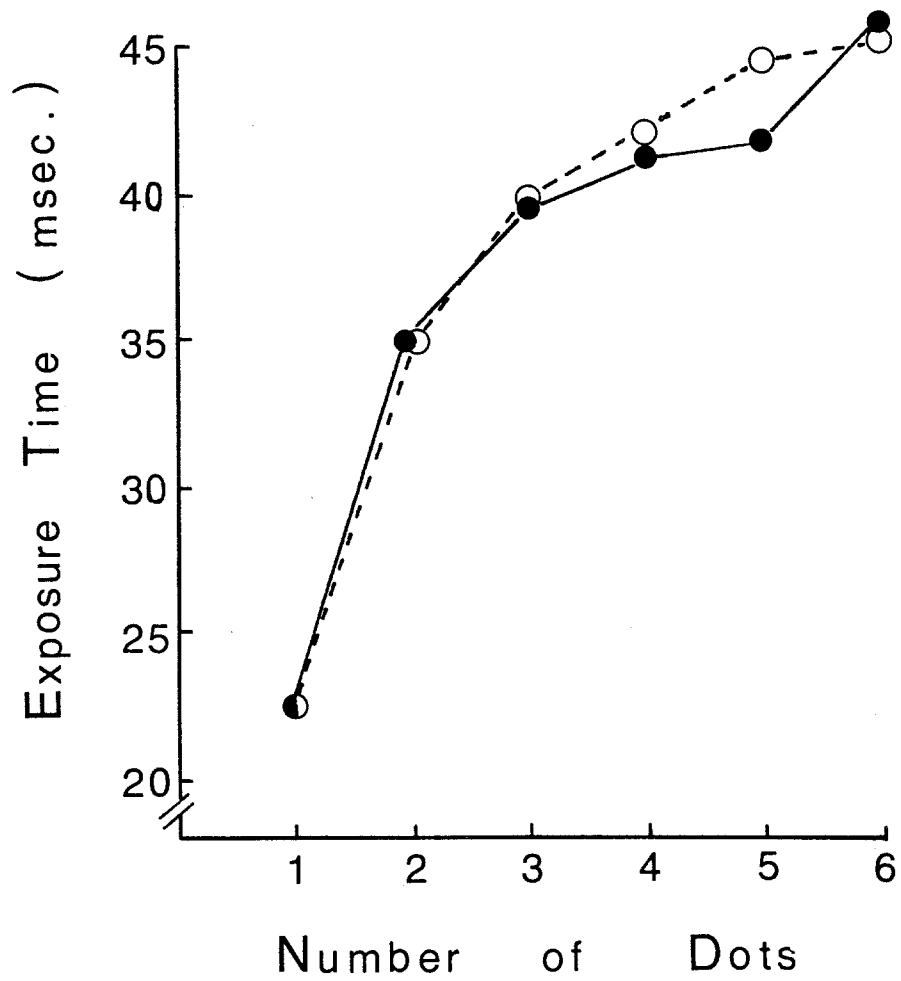


図 58 . 提示された点の数 (ND) に対してそれぞれ  
50% の正答を得るために必要な提示時間  
(●) およびその理論値 (○)

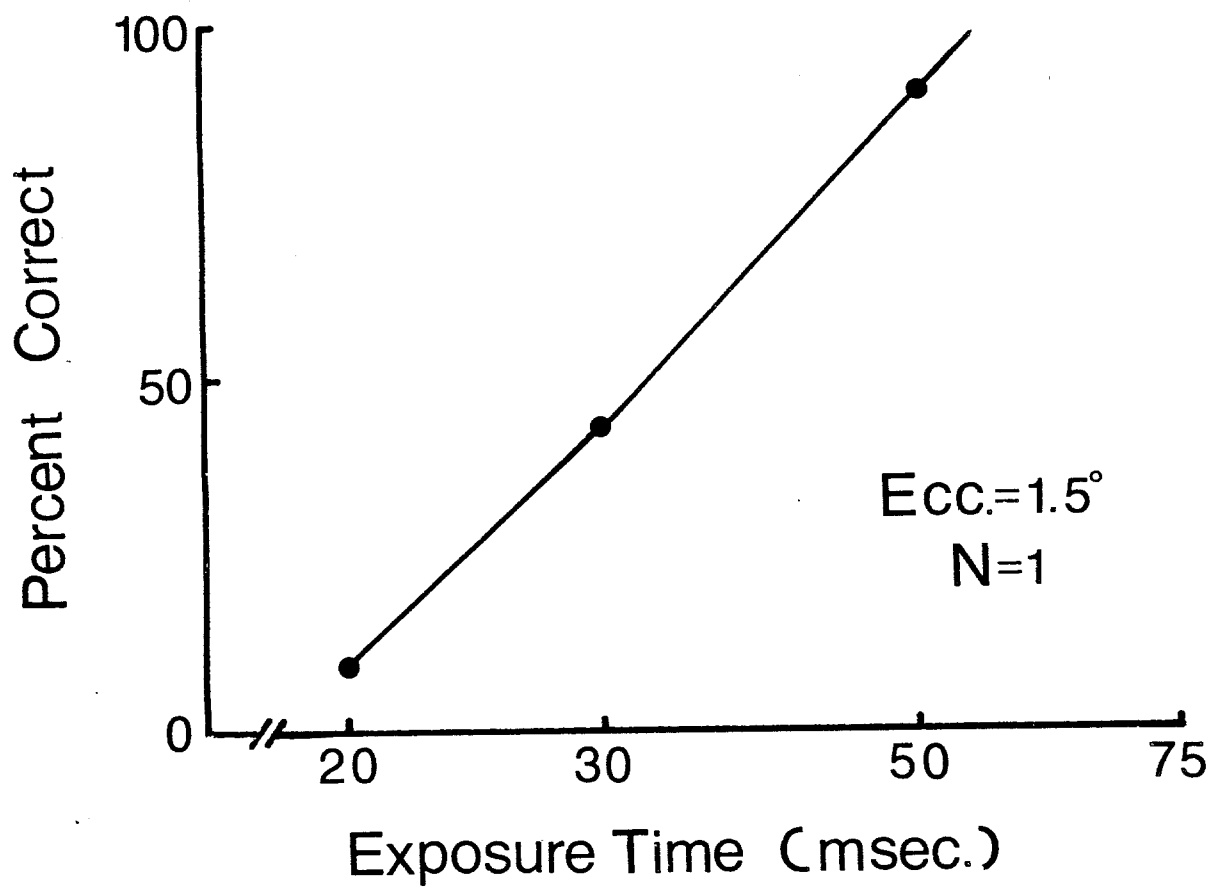


図 59 . 項目数 1、偏心度  $1.5^{\circ}$  の条件 2 の  
正答率曲線

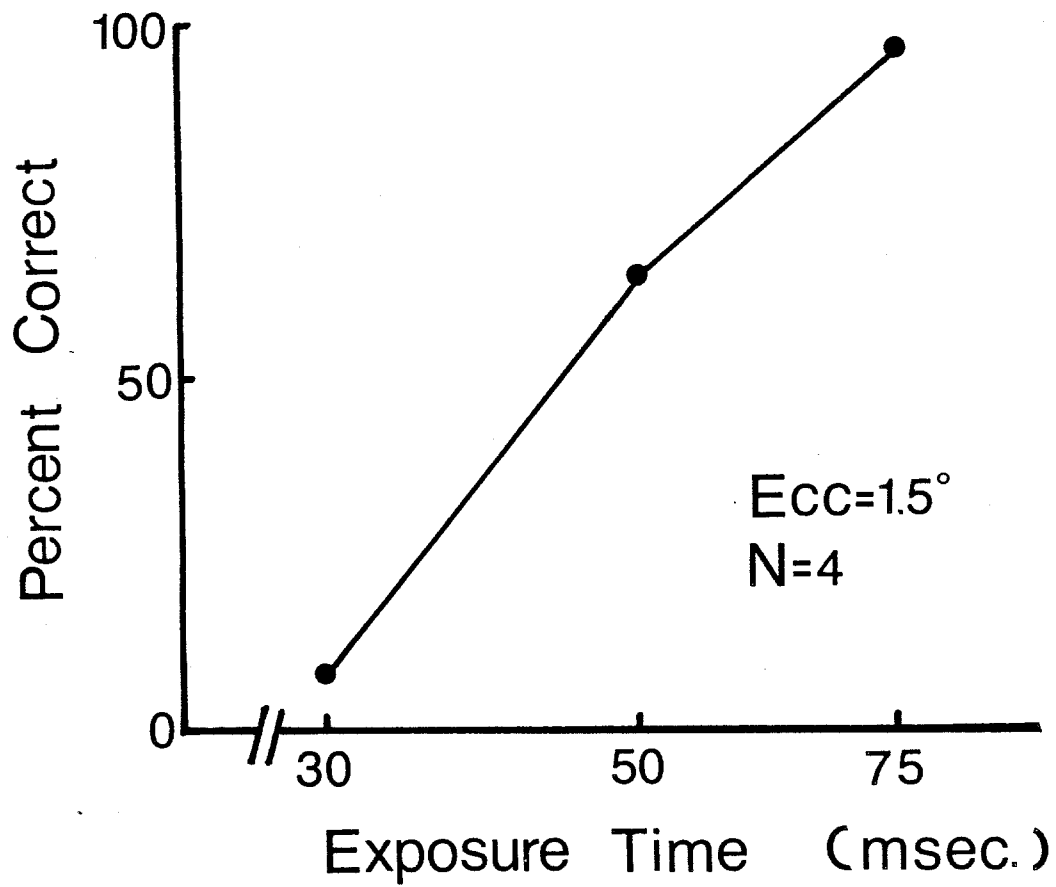


図60. 項目数4、偏心度1.5°の条件2"の正答率曲線

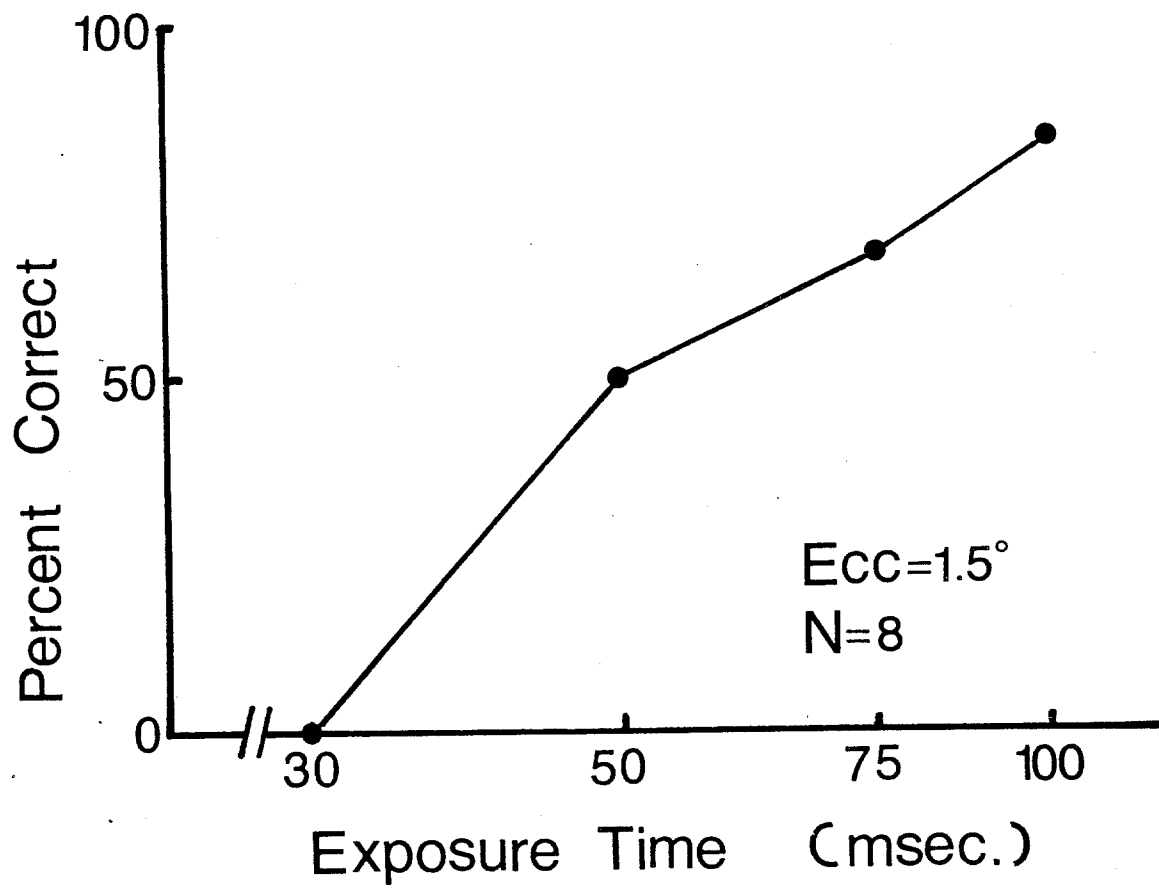


図61 . 項目数8、偏心度1.5°の条件での  
正答率曲線



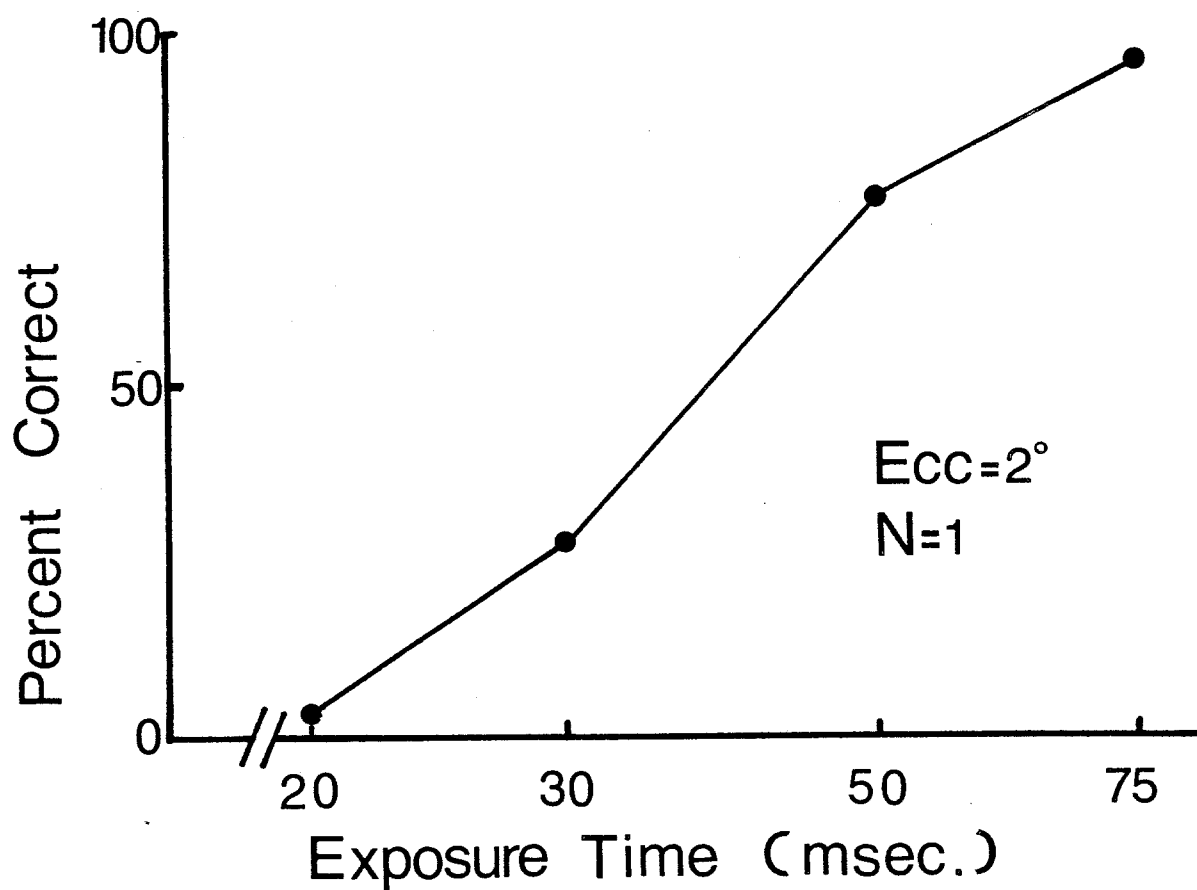


図62 . 項目数1、偏心度2°の条件での正答率曲線

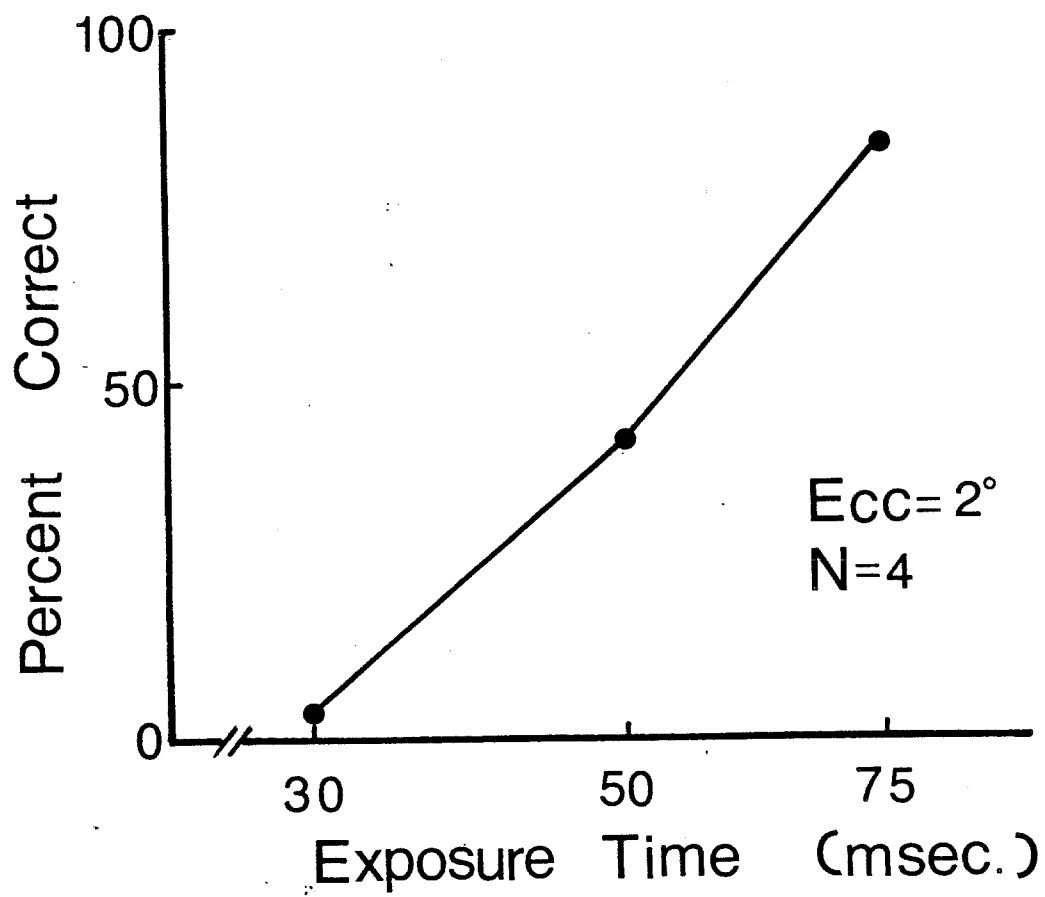


図 63 . 項目数 4、偏心度 2° の条件での正答率曲線

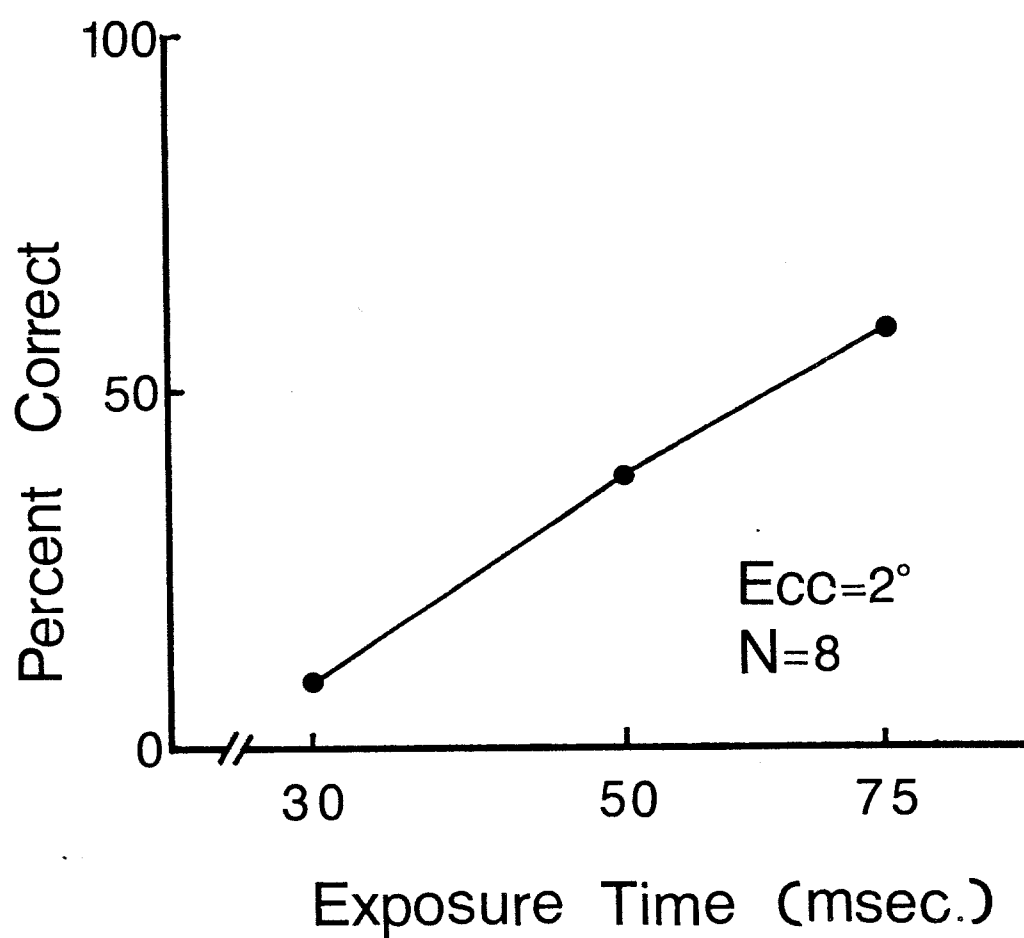


図 64. 項目数 8、偏心度  $2^\circ$  の条件での正答率曲線

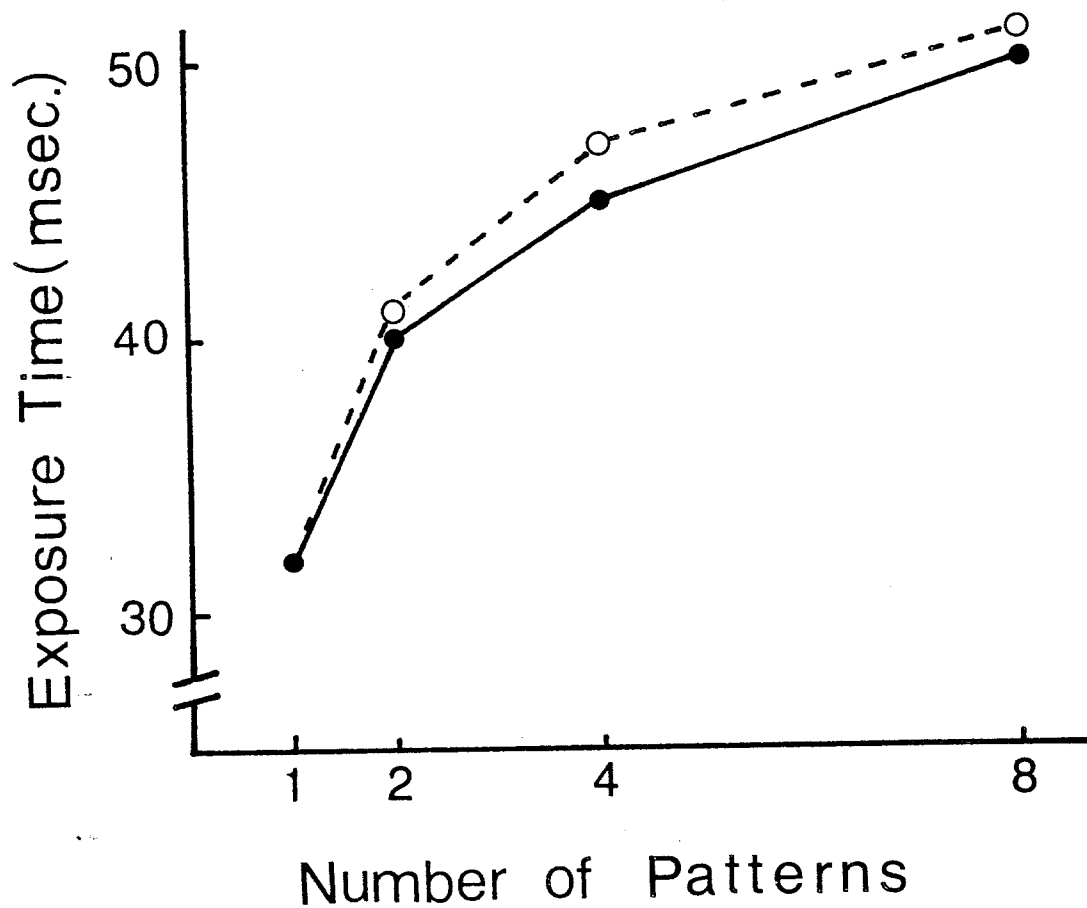


図 65 偏心度  $1.5^\circ$  の条件において各々の項目数に対して 50% の正答を得るために必要な提示時間(●)とその理論値(○)

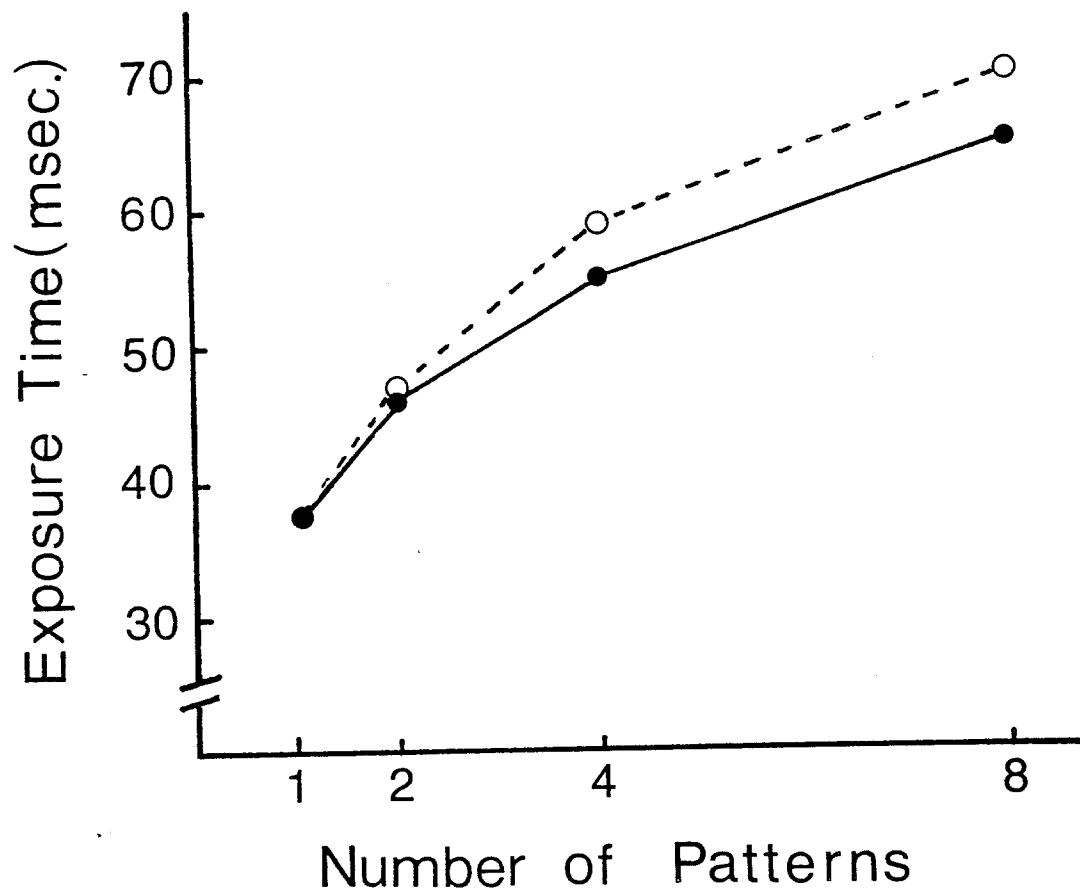


図 66 . 偏心度  $2^\circ$  の条件において各々の項目数に対して 50% の正答を得るために必要な提示時間(●)とその理論値(○)

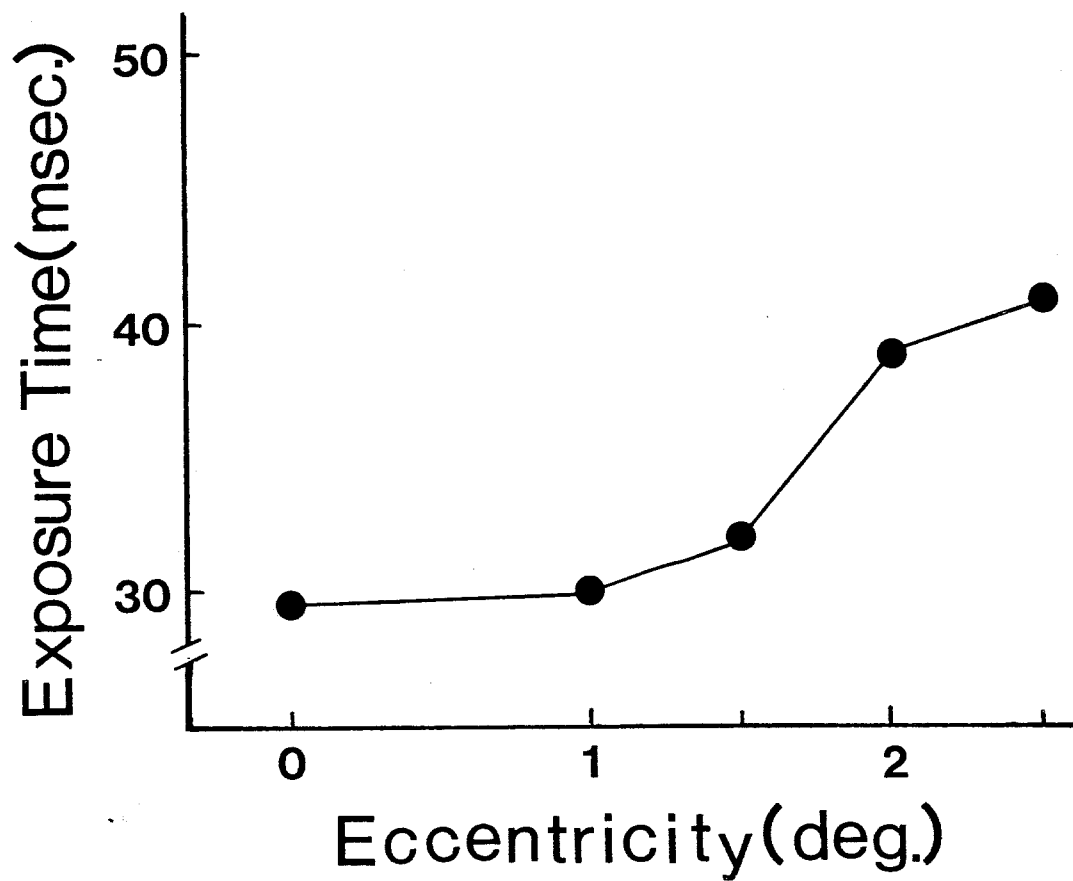


図67. 50%の正答率を得るために必要な提示時間と網膜偏心度の関係。

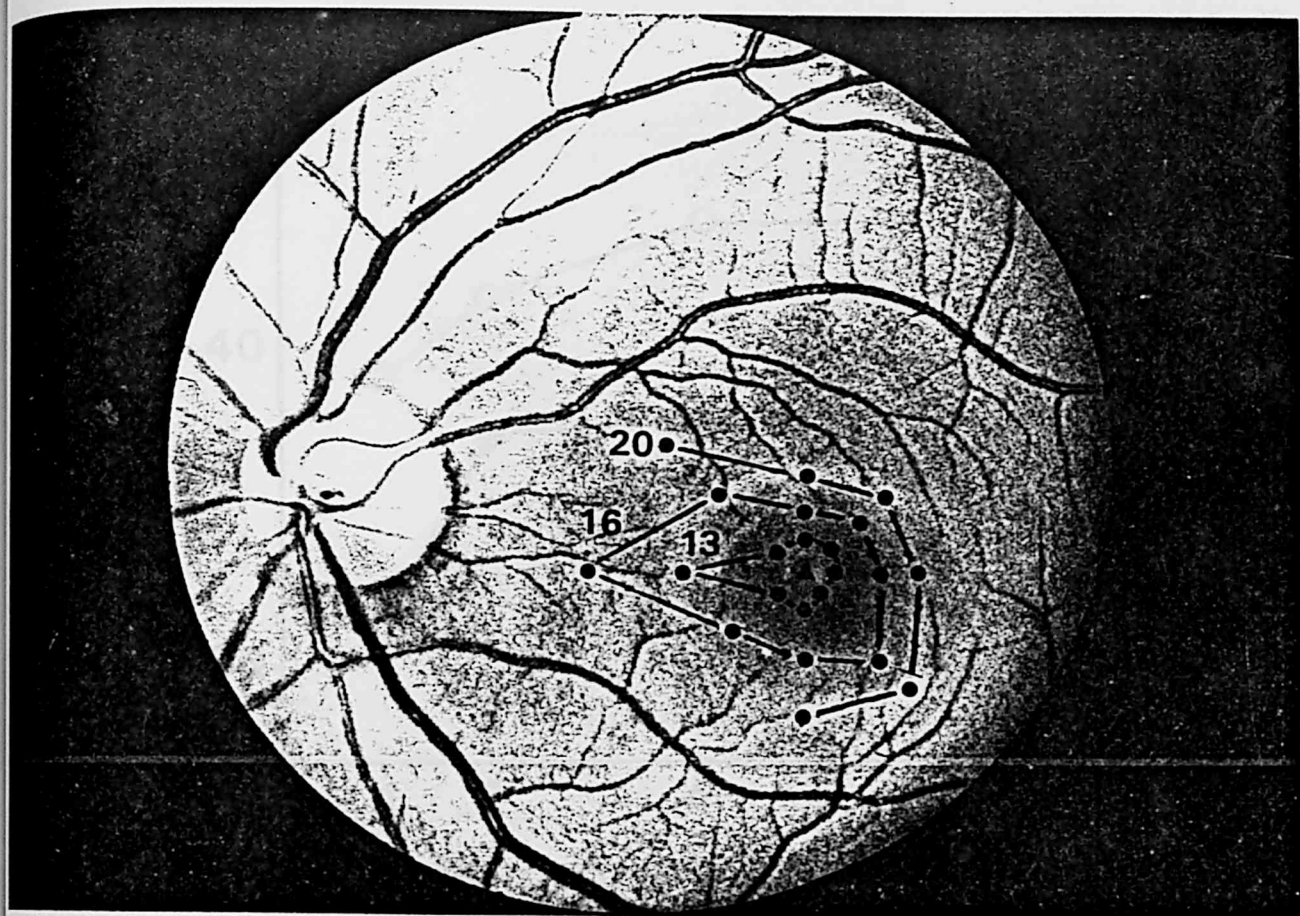


図 68 等感度曲線 (Inui, et al, 1981)

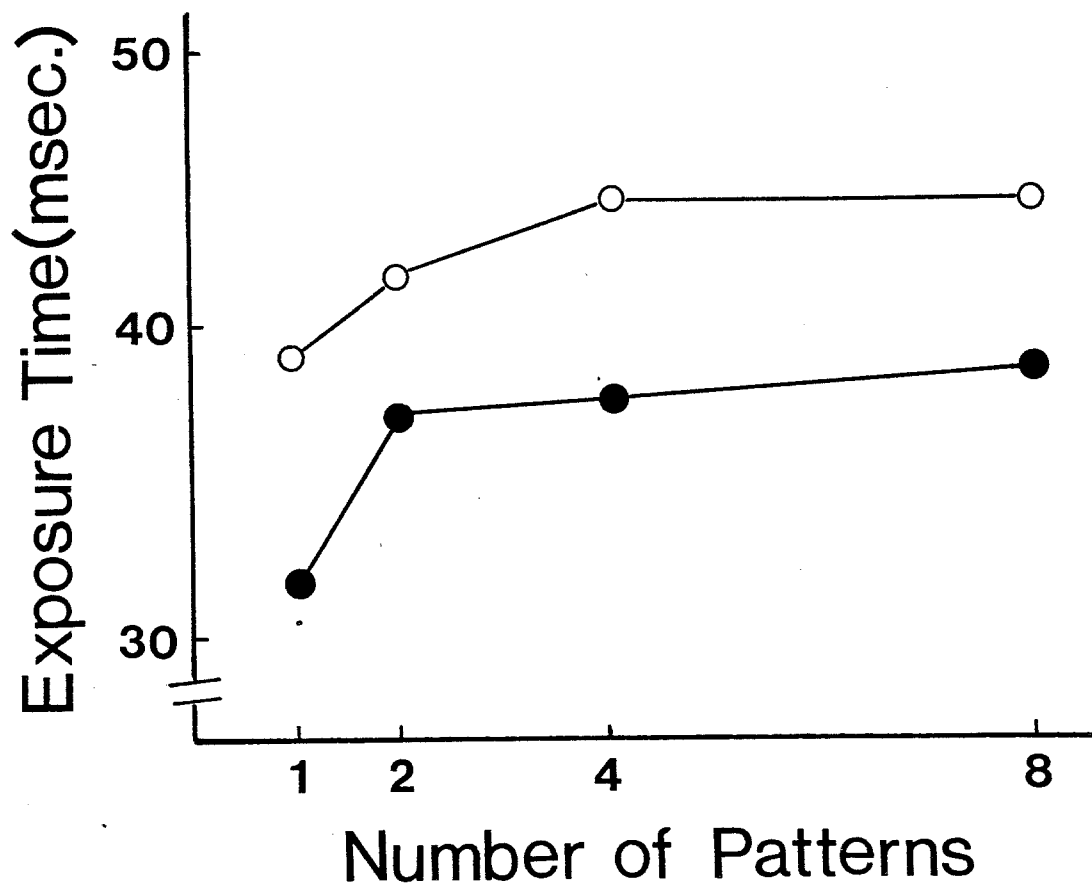


図69. DPに対する50%閾と図形の構成数。



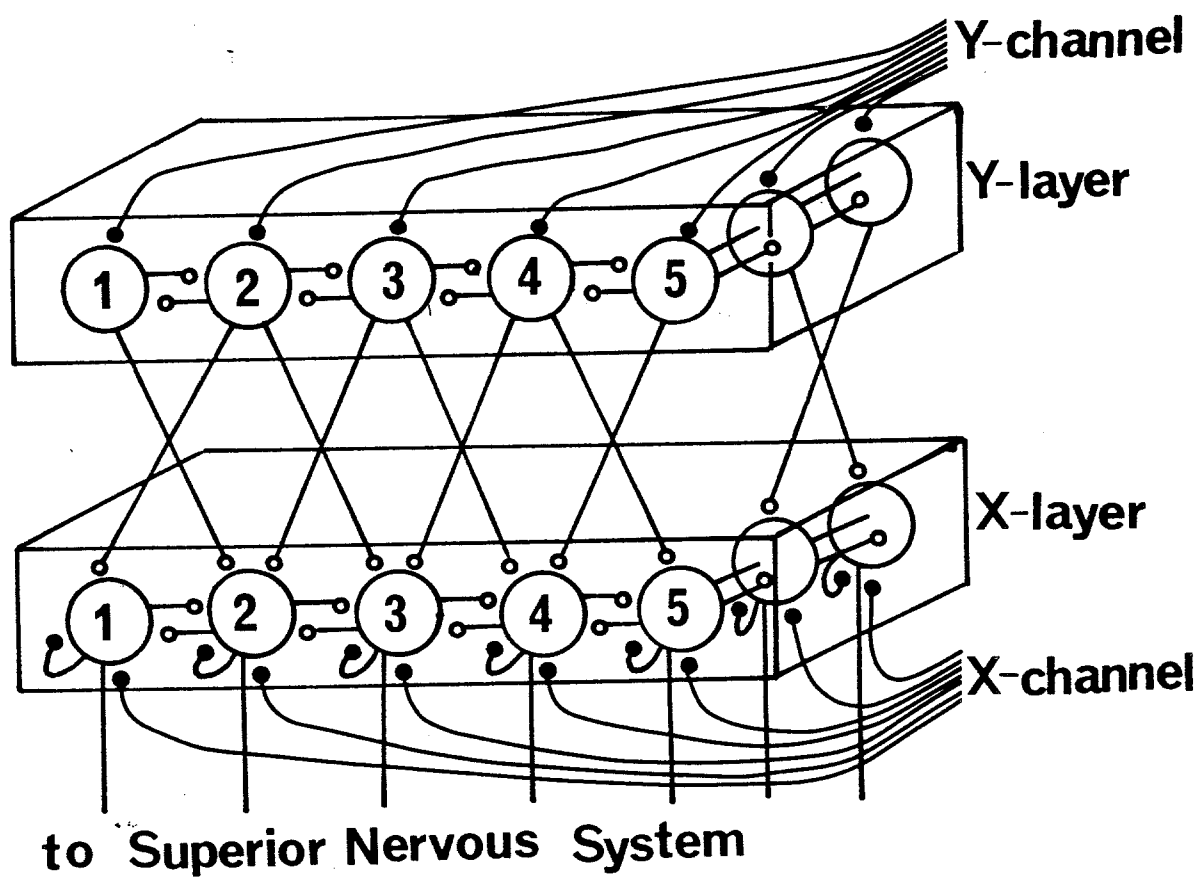


図 70. . 2 層神経回路網モデル

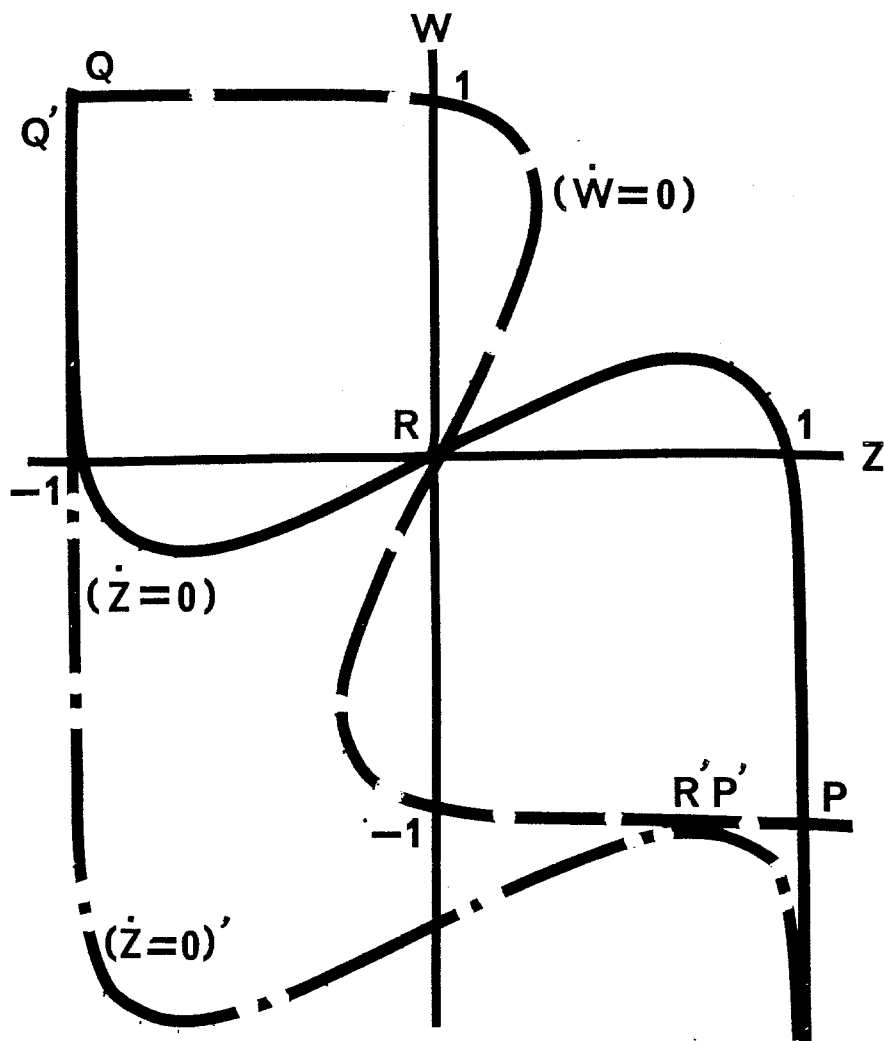


図 71 . 系 (16) の位相面  
 — Phase plane of the system (16)

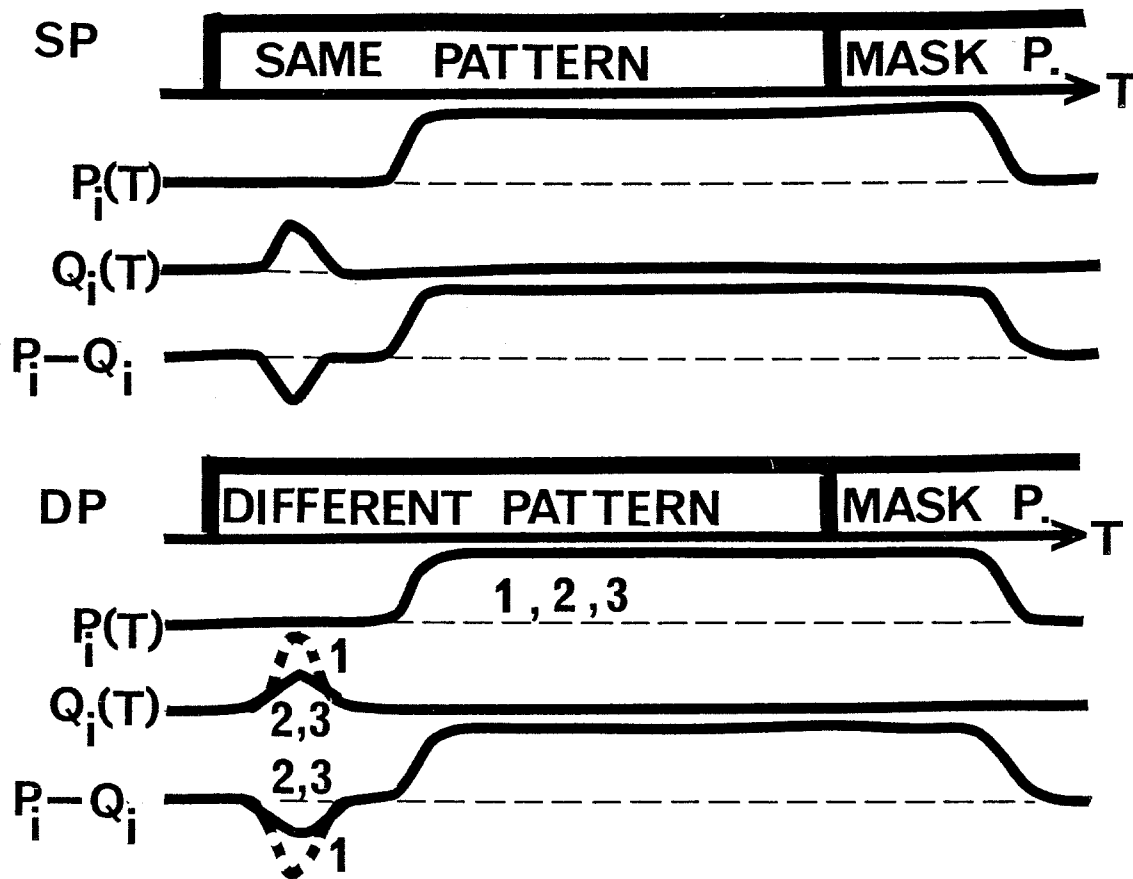


図72 外部入力刺激の時間変化  
 DPの場合 1に対応する図形  
 のみか異なると仮定している。

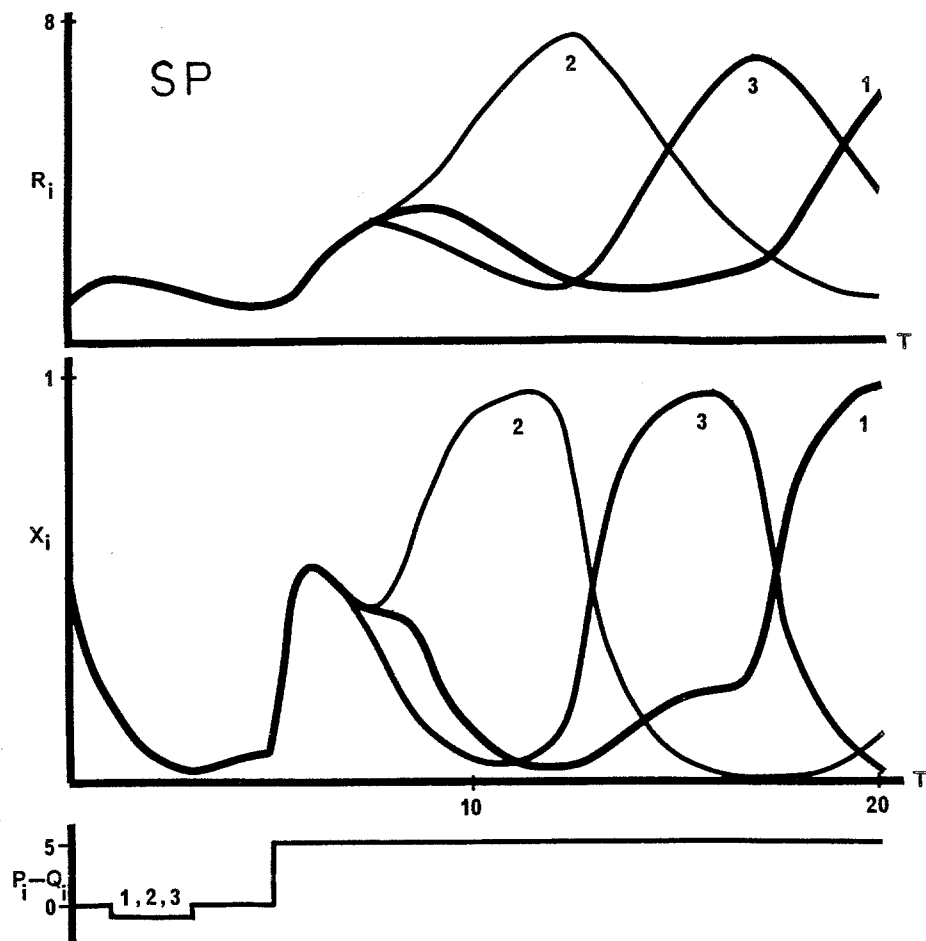


図 73-a. ニューロン集団の順次的発火パターン

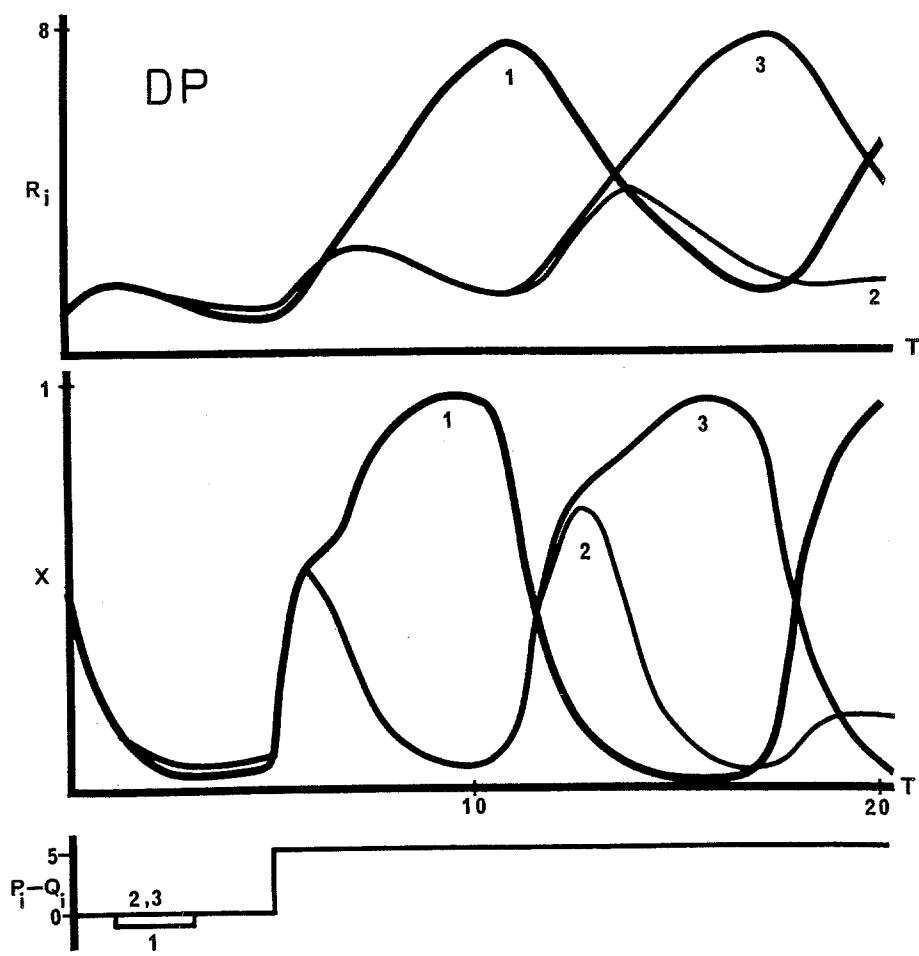


図 73-b. ニューロン集団の順次的発火パターン

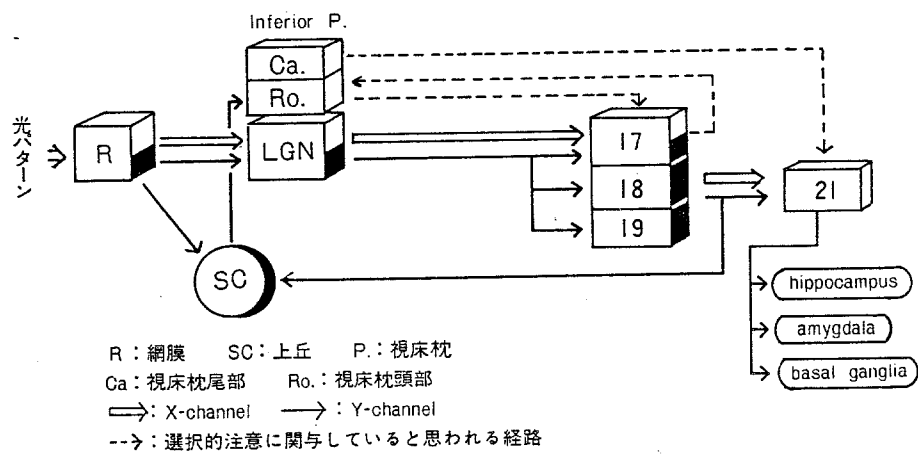


図74. 視覚系のブロックダイアグラム

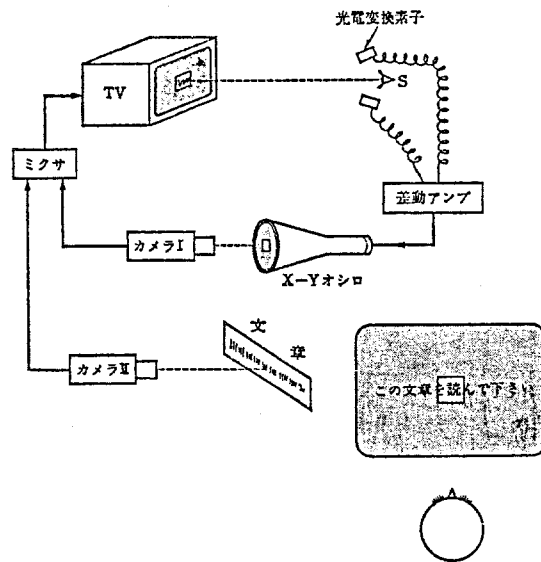


図75. 被験者の視野を人工的に制限する装置。カメラIは被験者の眼球運動をとらえている。カメラIIは被験者が読むべき文章全体をとらえている。2台のカメラ信号をテレビミキサーに入カレ、カメラIの信号を、カメラIIの画像の一部を抜き取ってTVディスプレイに表示する(池田, 1995)。

Graphology means personality diagnosis from hand writing. This is a

XS      XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXonality diagnosis xxxx xxxx XXXXXXXX. XXXX xx x

XF      XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXonality diagnosis XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

CS      Cnojkaiazp wsore jsnconality diagnosis tnaw kori mnlflrz. Ykle le o

CF      Cnojkaiazpewsourcejsmconality diagnosisetnawekoriemnlflrqeeYkleeleco

NCS    Hbfxwysyvo tifdl xiblonality diagnosis abyt wfdn hbemedv. Awcl el f

NCF    Hbfxwysyvotifdlcxiblonality diagnosiscabytcwfdnehbemedvceAwclcclef

図 76. 被験者が読むべきテキストの一部  
と各条件下での周辺情報を示す。  
被験者は diagnosis の d を注視して  
いる。窓の大きさは 17 文字である  
(McConkie と Rayner, 1975)。



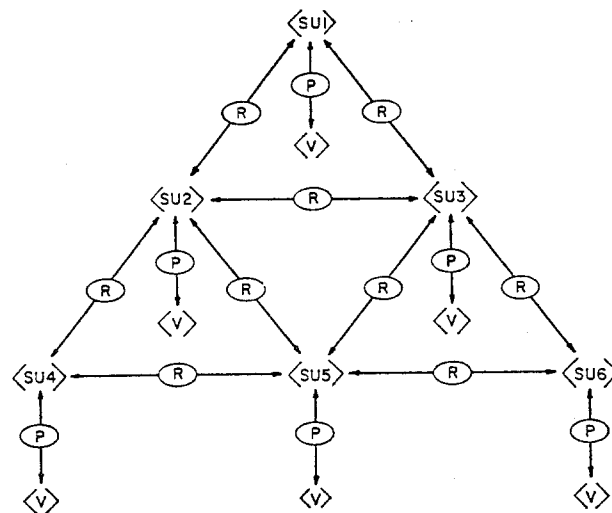


図 77 イメージの階層ネットワーク構造  
(Palmer, 1977)。



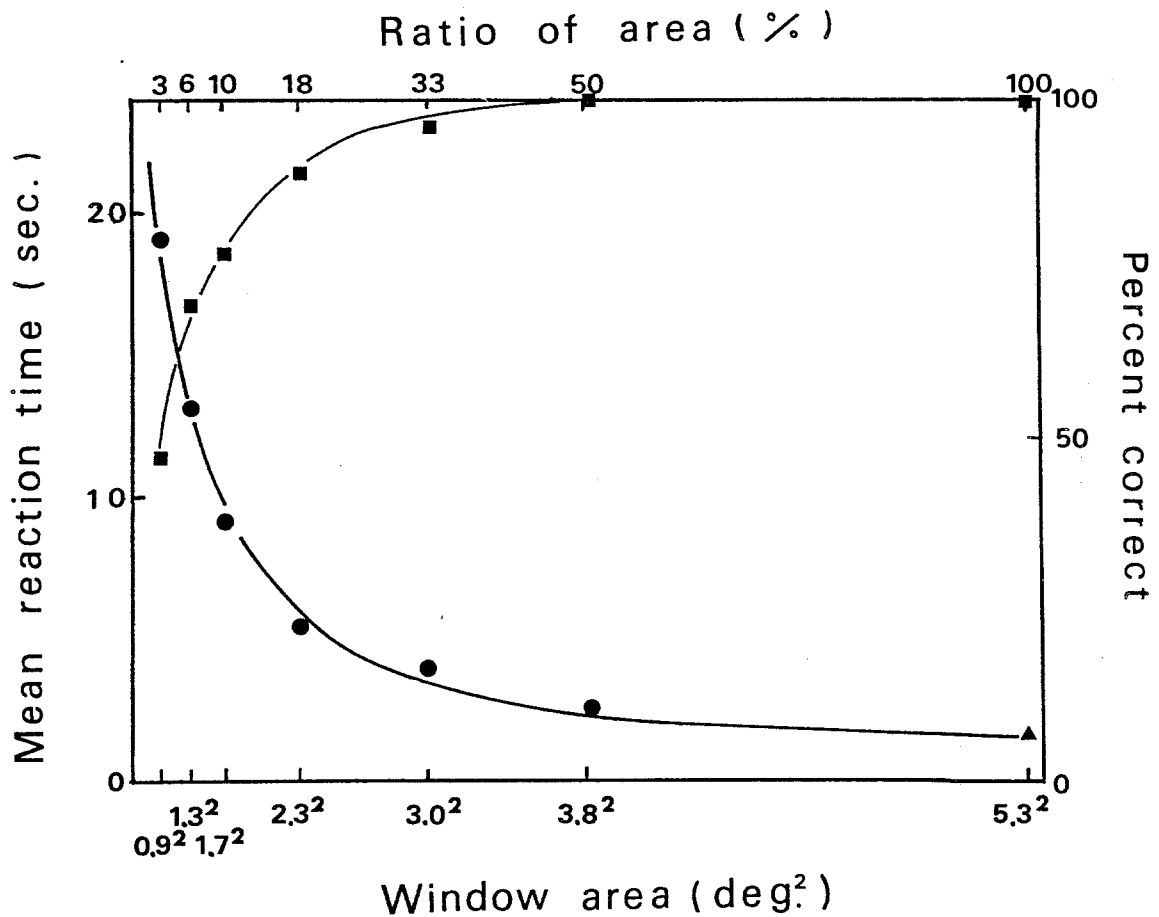


図79 . 平均の正答率と視野の広さとの関係(■)および、正答時の平均反応時間と視野の広さとの関係(●)。視野が全体の18%にまで狭くなると、有意に正答率は低下した。又、正答時の平均反応時間も、視野が18%より狭くなると急激な増加を示した。

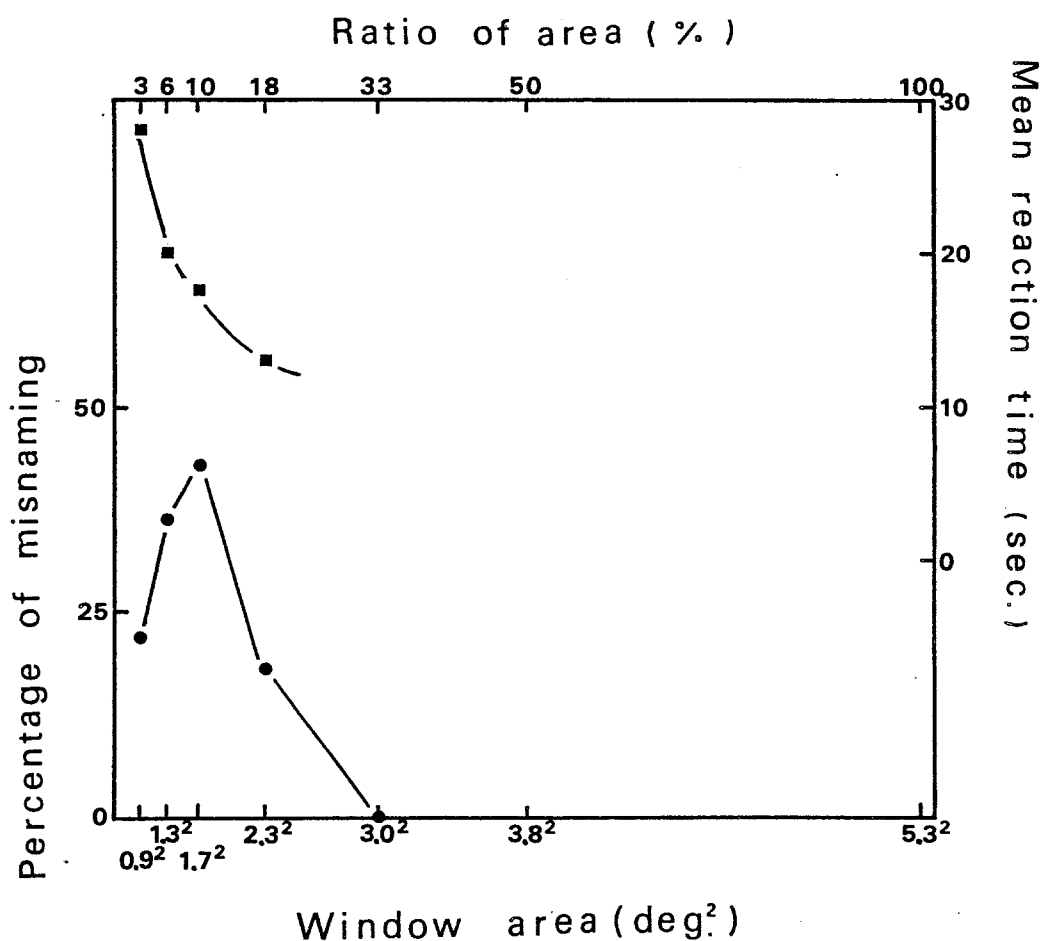


図80 . 誤判断の割合（誤判断の回数で、  
 判定不能時も含めた全誤答数で割  
 った値）と視野の広さの関係(●)、  
 および誤判断時の平均反応時間と  
 視野の広さの関係(■)を示す。

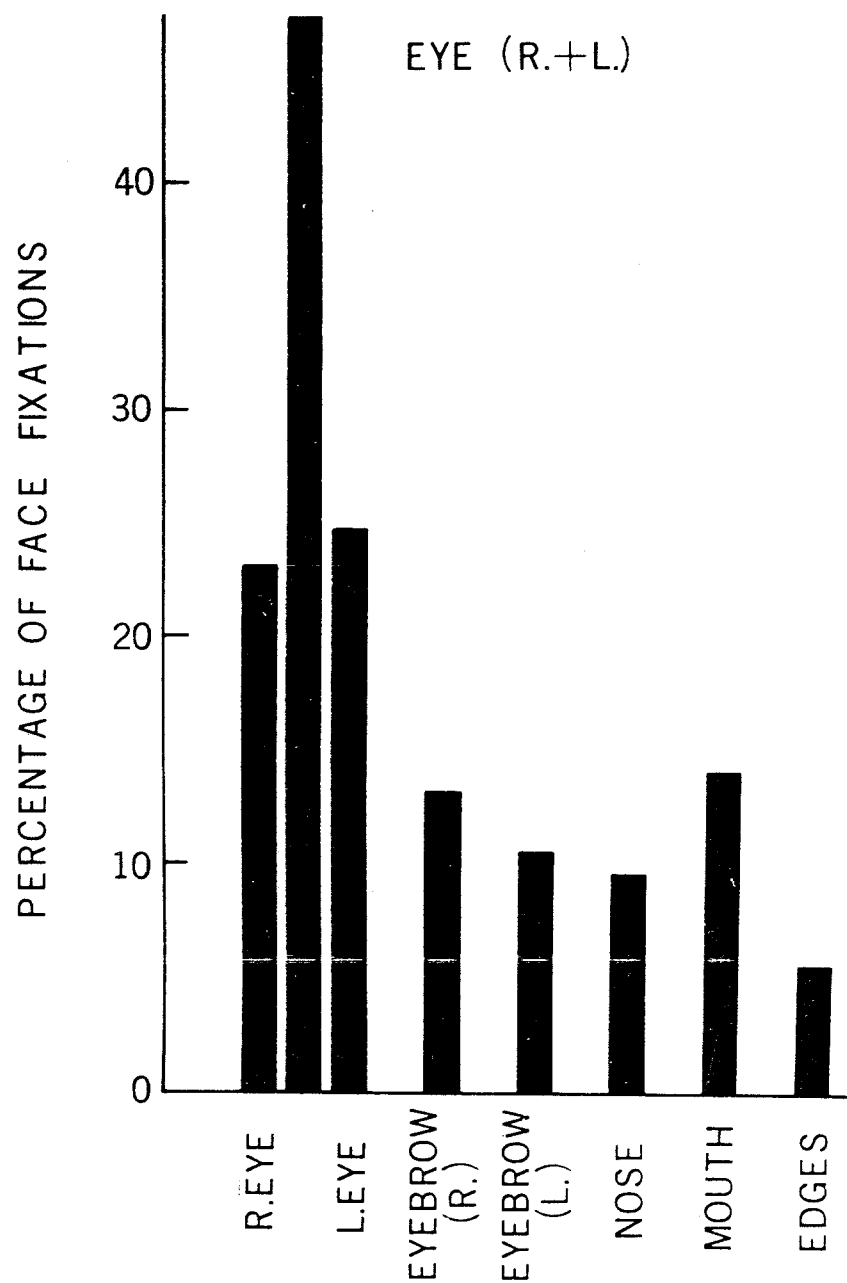
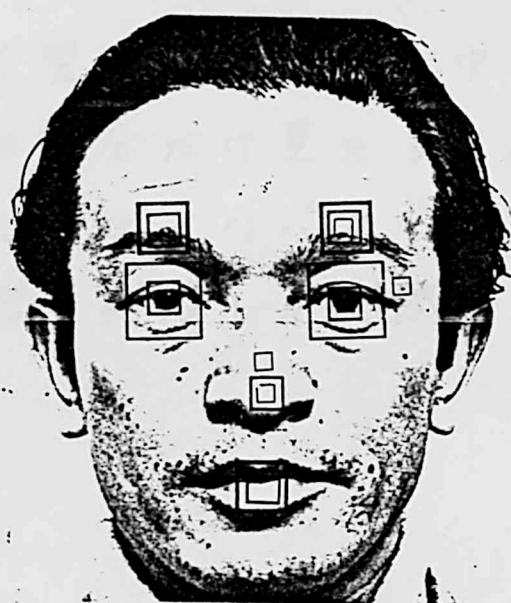
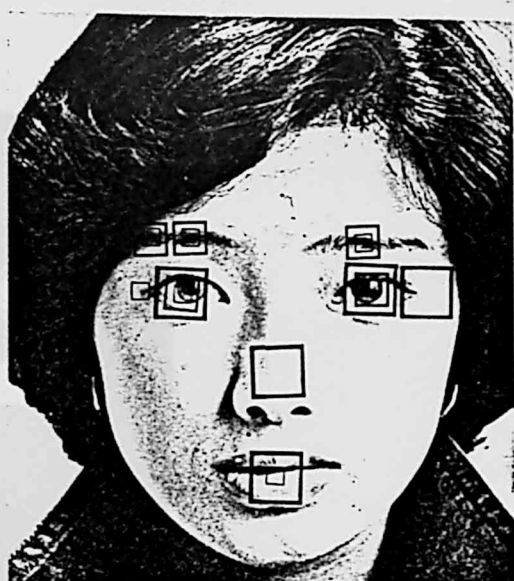
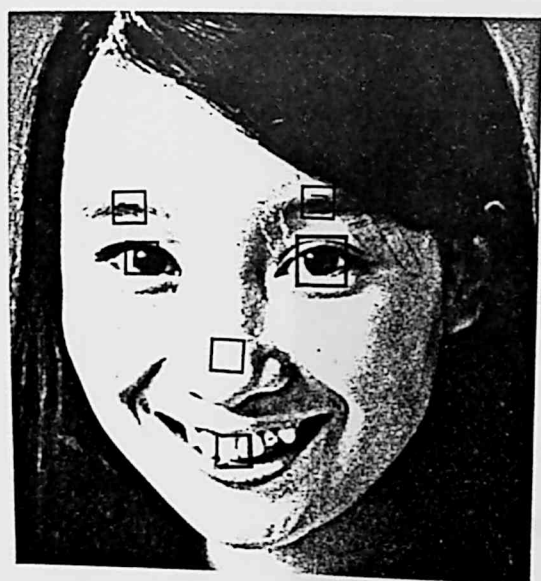


図81a. 制限視野で顔の部分を走査した回数







	---- 1回
	---- 2回
	---- 5回
	---- 10回

図81b . 制限視野実験における顔の各部の走査回数例。最小の正方形は1回、次の大きさの正方形は2回、3番目の正方形は5回、最大の正方形は10回の走査を示す。



図82 . T型マスクの例。中心5°のT字型の部分だけ見える。条件スズは、このようなパターンを、さらに視野を制限して認識させた。

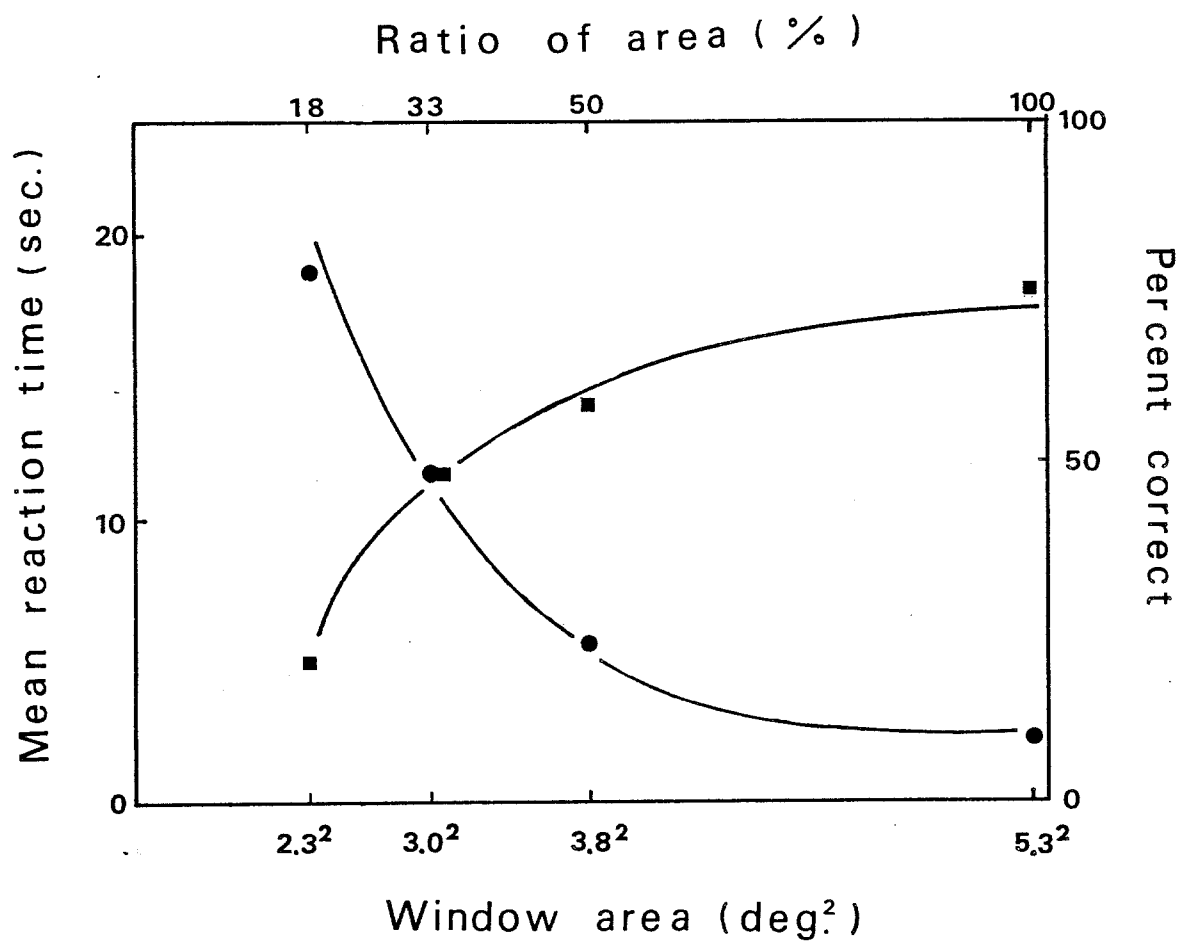


図83 . 平均の正答率と視野の広さの関係 (■), および正答時の反応時間と視野の広さの関係(●).



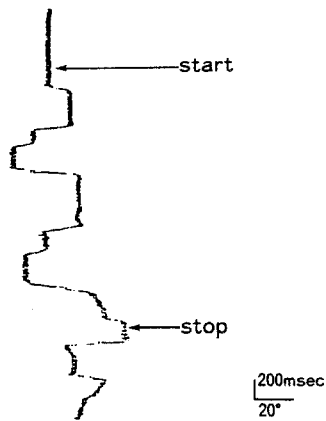
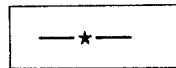
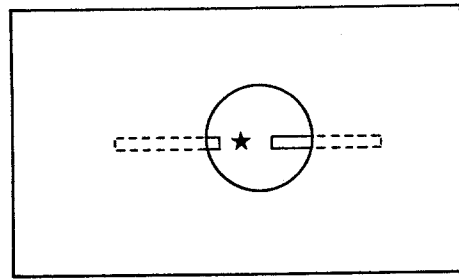


図84. スクリーンに提示された2本の線分  
と固視点および正常者の観察時に  
ける E.O.G の1例。

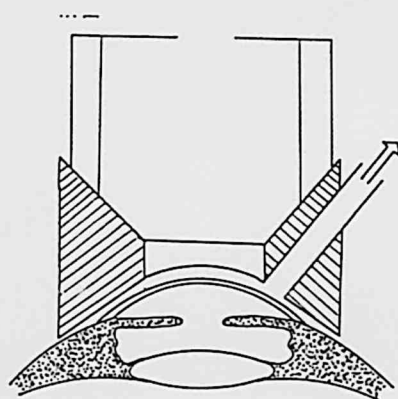


図85. 先端にピンホールをもつ紙製の筒を  
取りつけたLo-Vacコニタクトレニス  
装着した場合および視野制限に使用  
されたコニタクトレニスの断面。

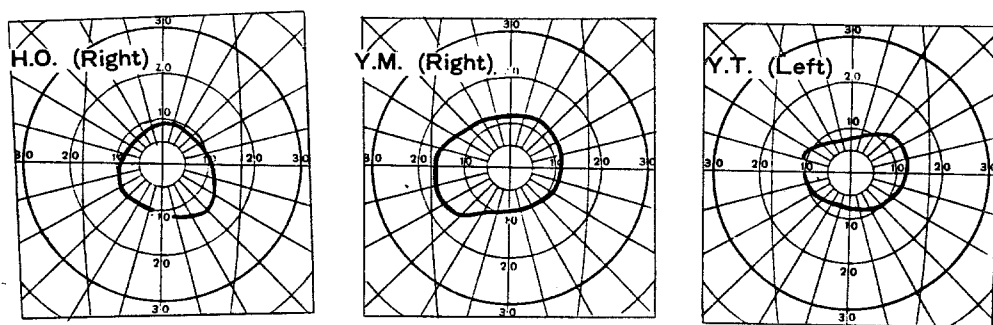


図86 . 網膜色素変性症患者3名の視野

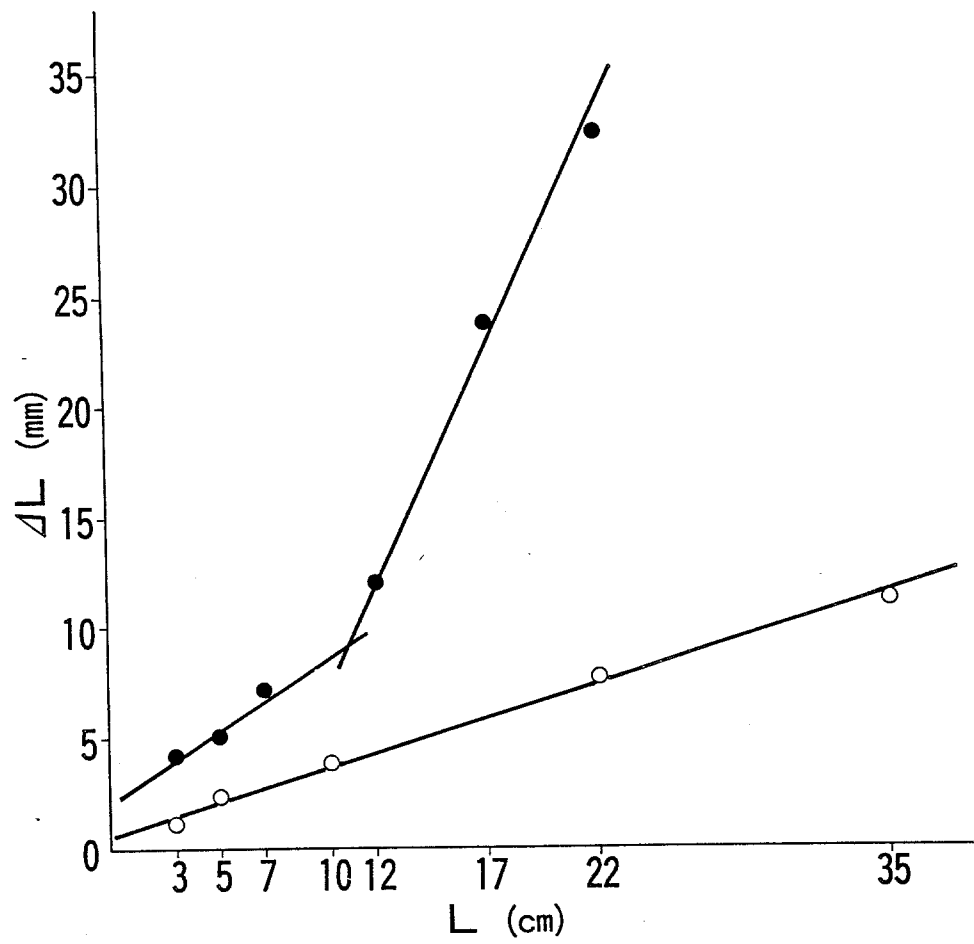


図87 . 自由視条件での弁別閾  $\Delta L$  と規準線分  $L$  の関係

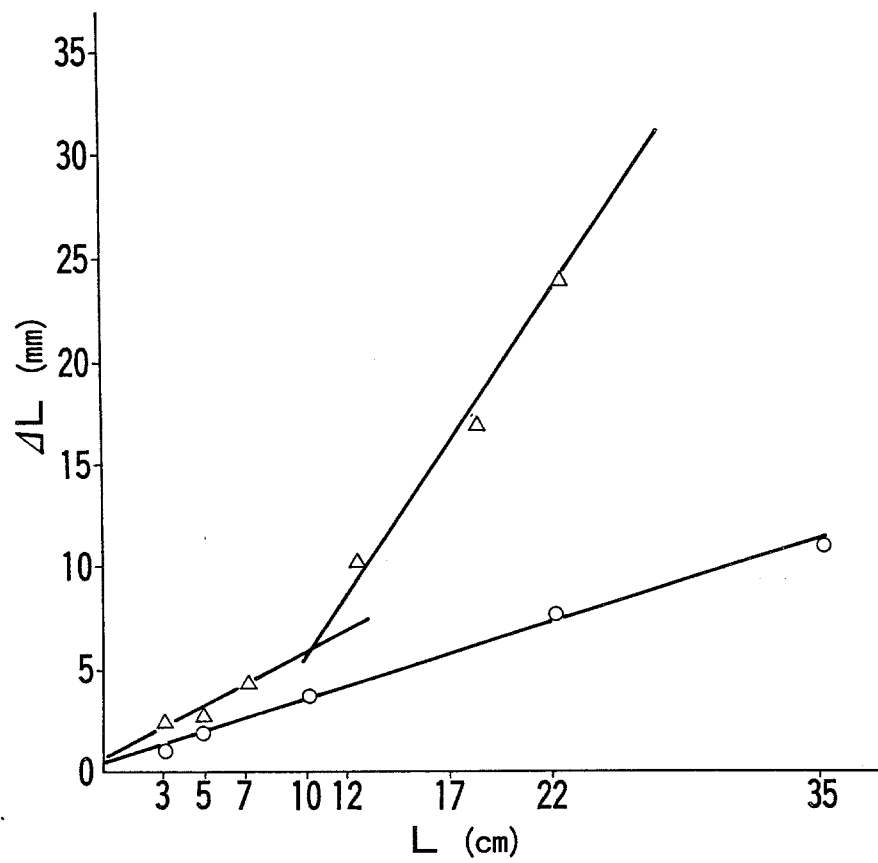


図 88 . 視野制限条件での弁別閾  $\Delta L$  と規  
準線分  $L$  の関係。

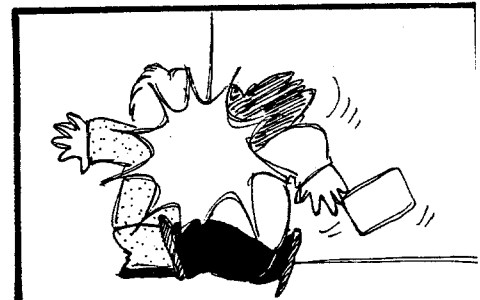
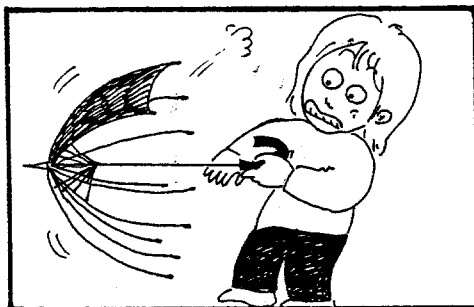
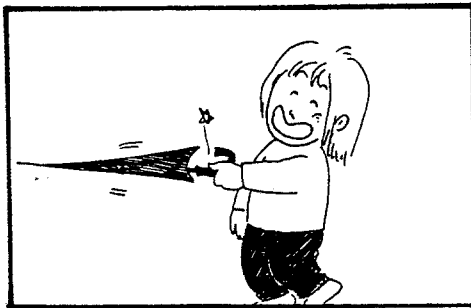
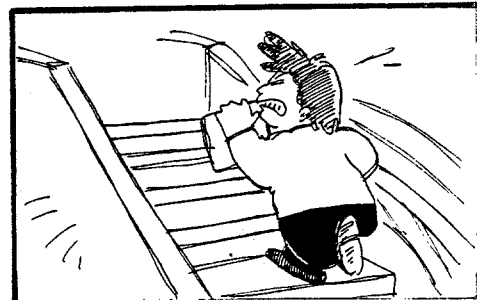
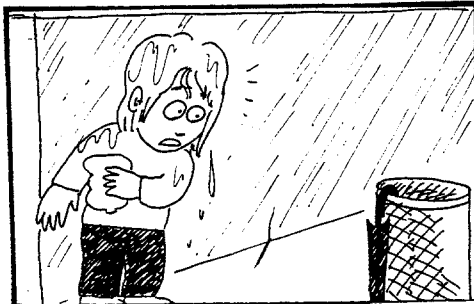
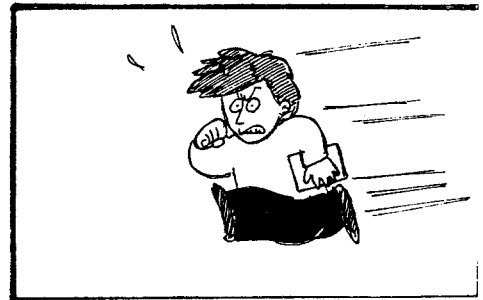
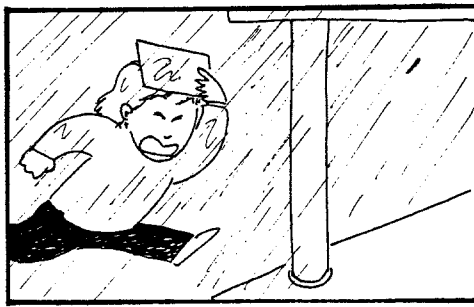


図 89-a. 使用された線画の例。

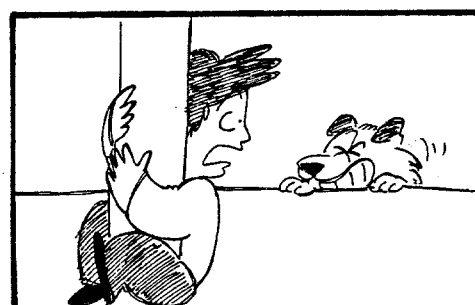
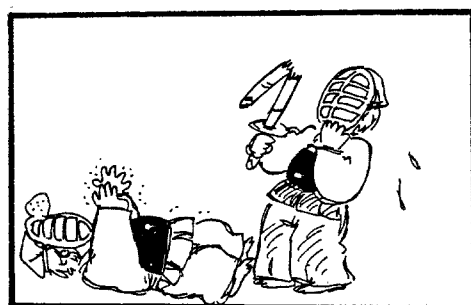
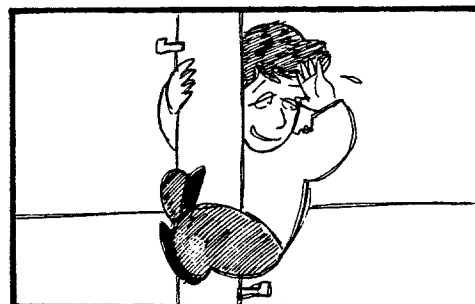
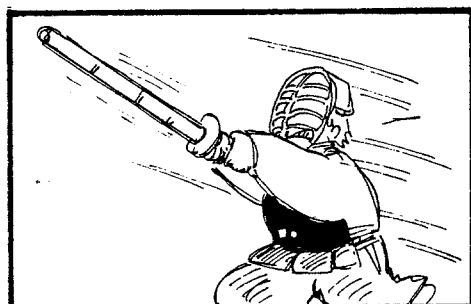
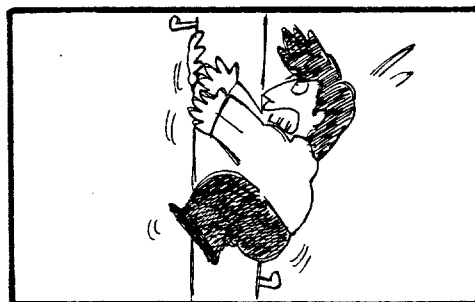
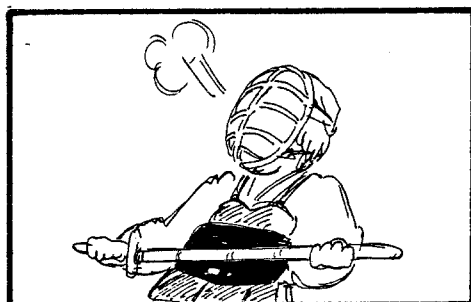
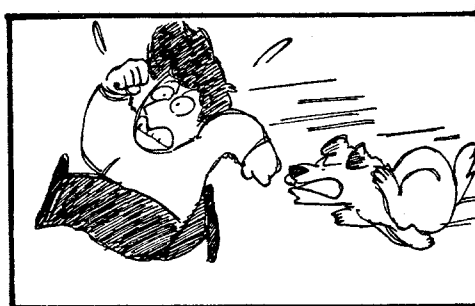
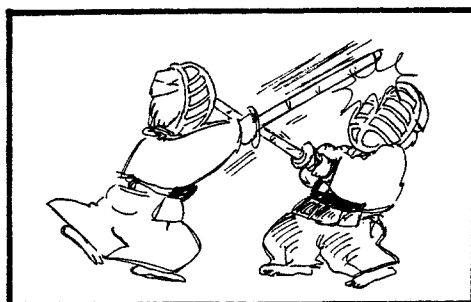


図89-b. 使用された線画の例。

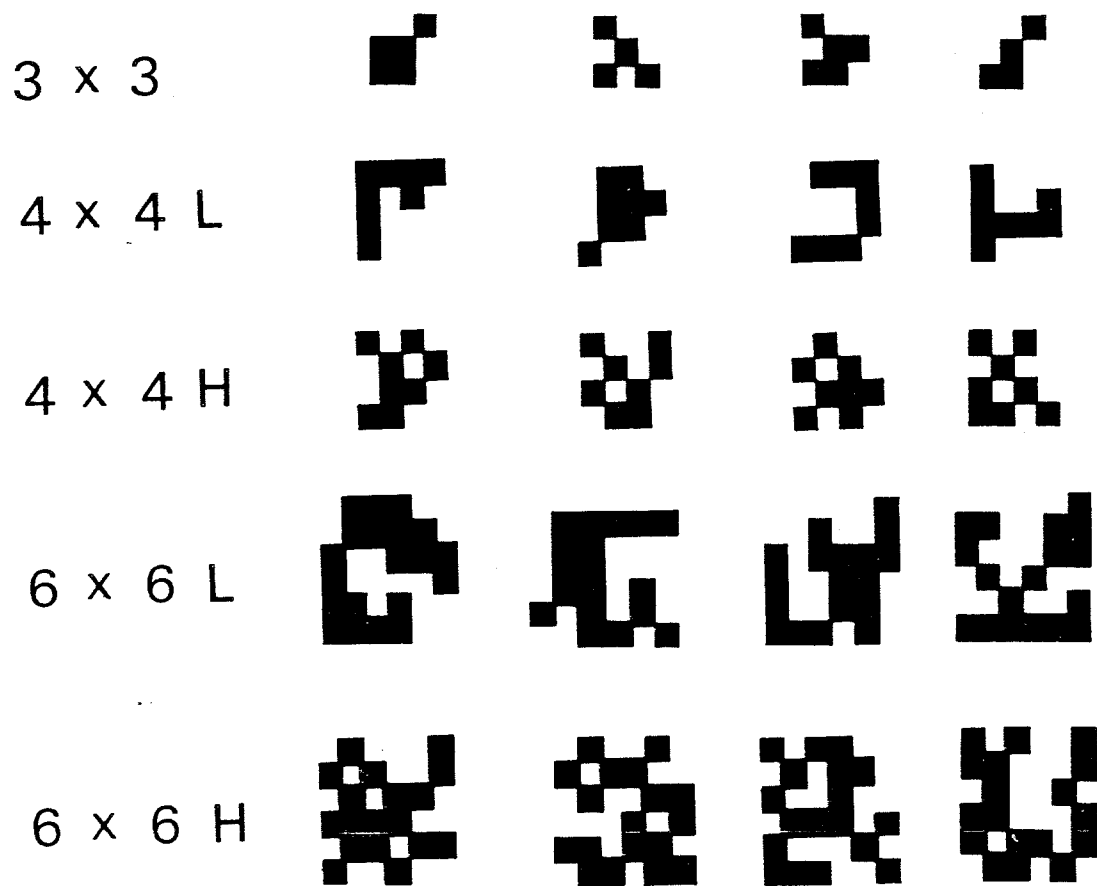


図 90. 使用された MP の例。



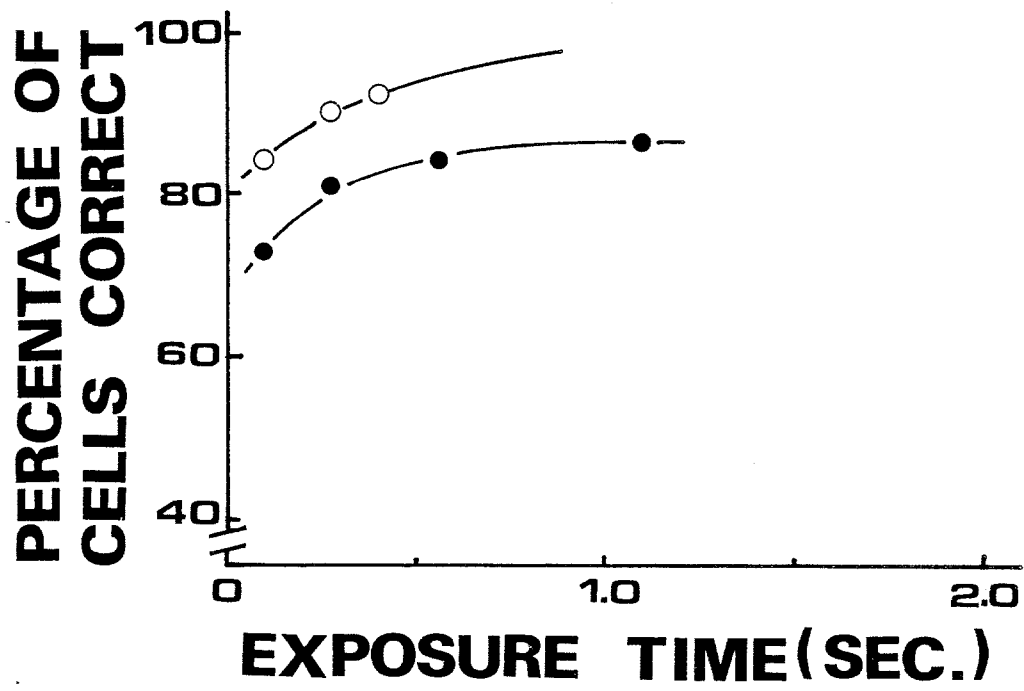


図91、 提時時間と再生率の関係。

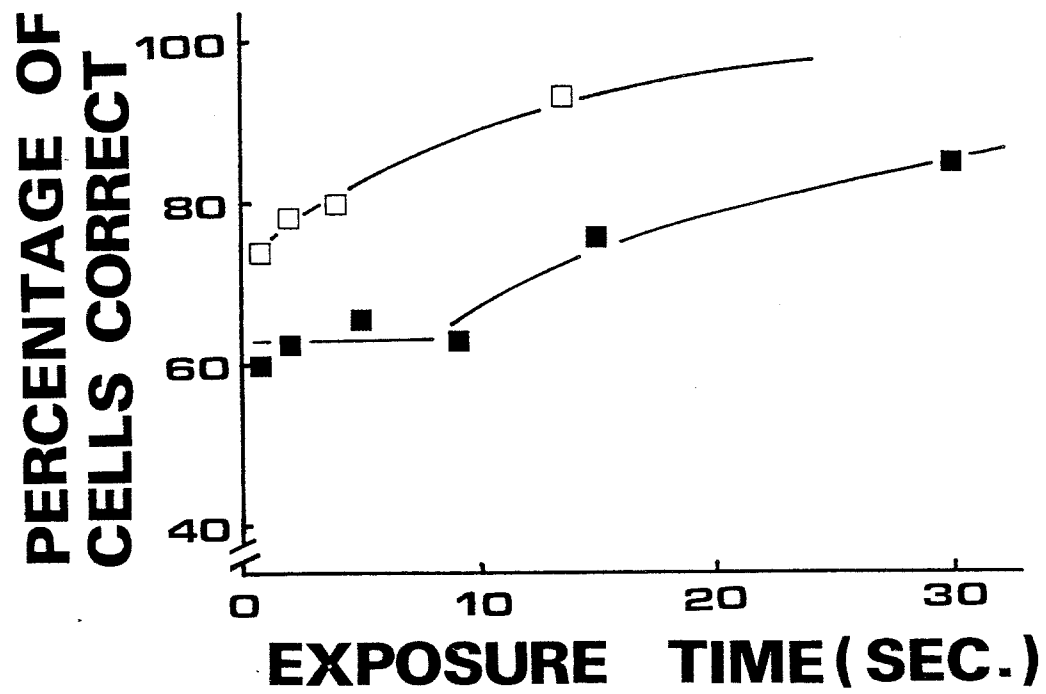


図92. 提時時間と再生率の関係。

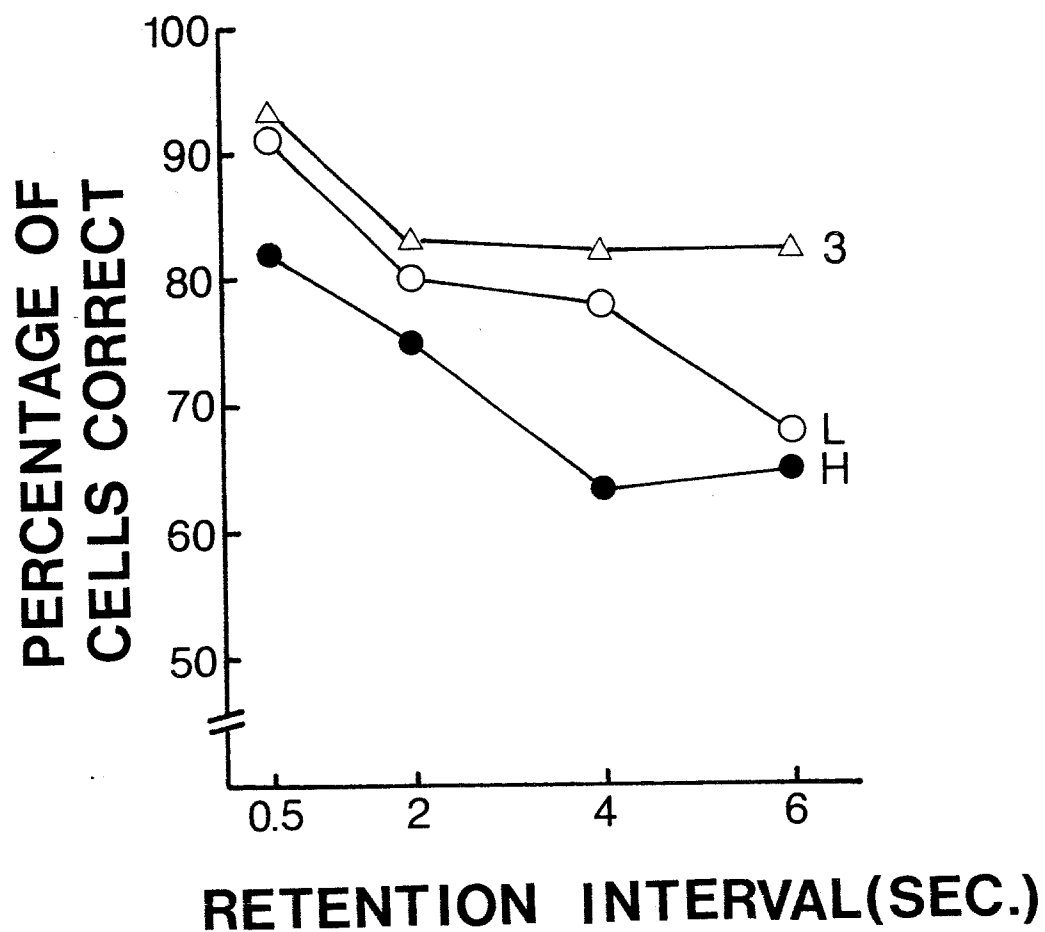


図93. 保持時間と再生率の関係。

上から 3×3, 4×4L, 4×4H の MP  
に対する結果である。

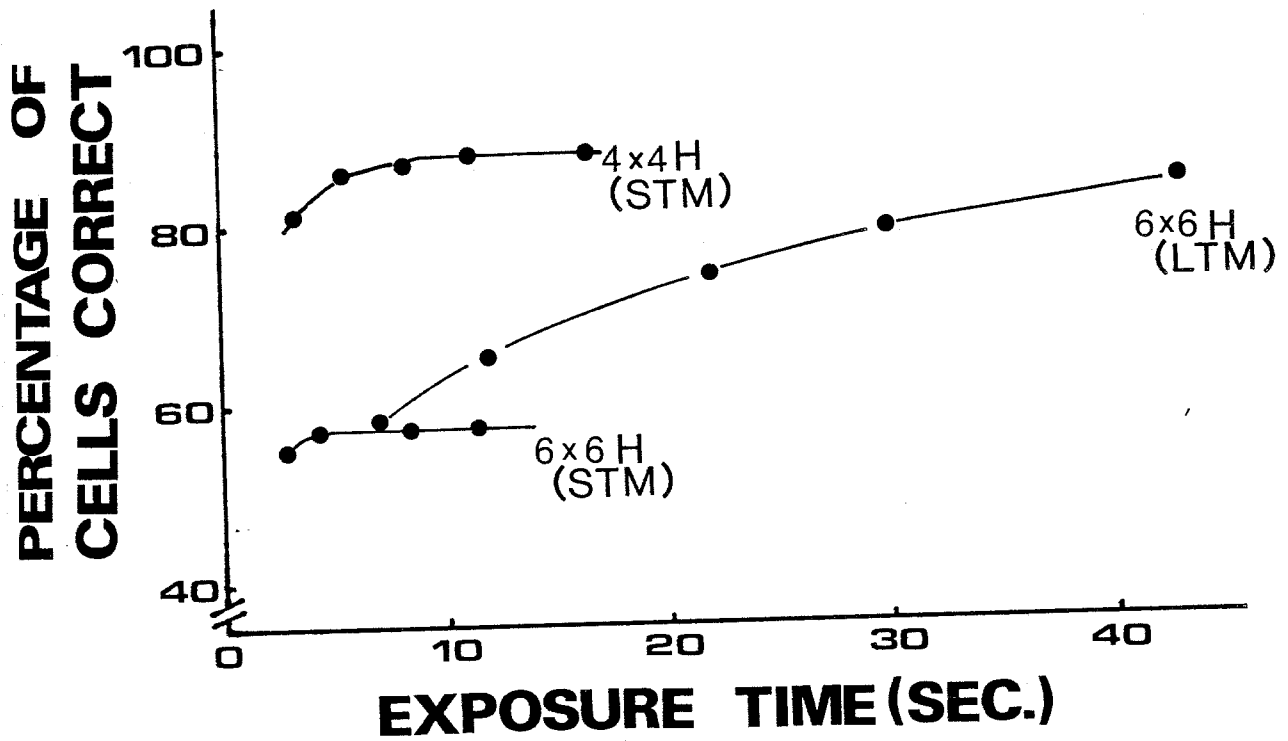


図94 . 視覚記憶のモデルによる再生率の推定値

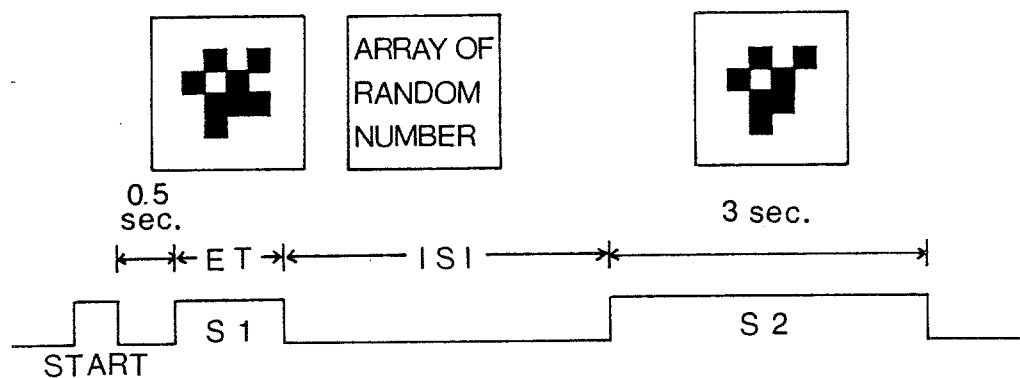


図 95. 再認実験における刺激の提示方法。

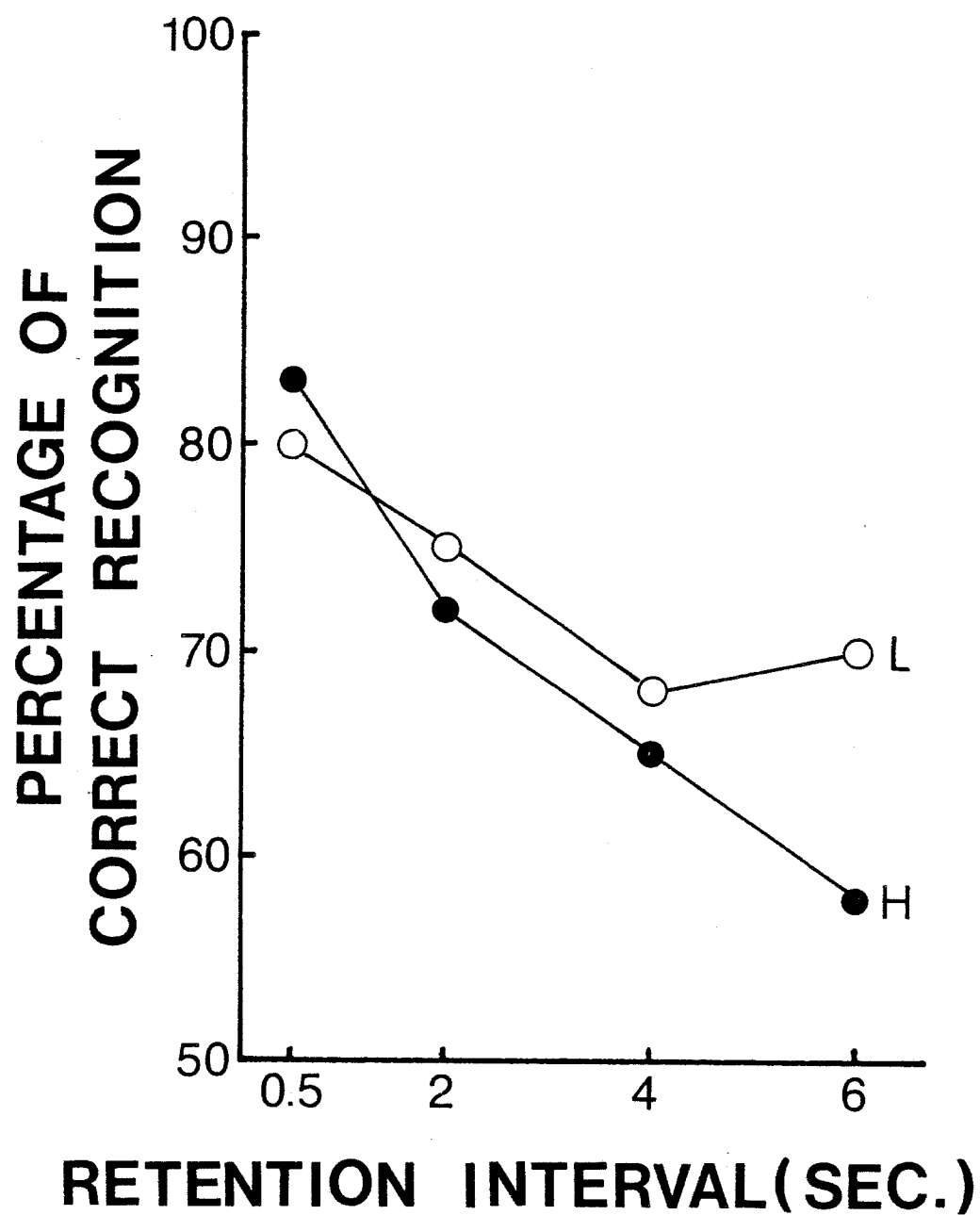


図 96. 保持時間と再認率の関係。白丸は 4×4L, 黒丸は 4×4H の MP に対する結果を示す。

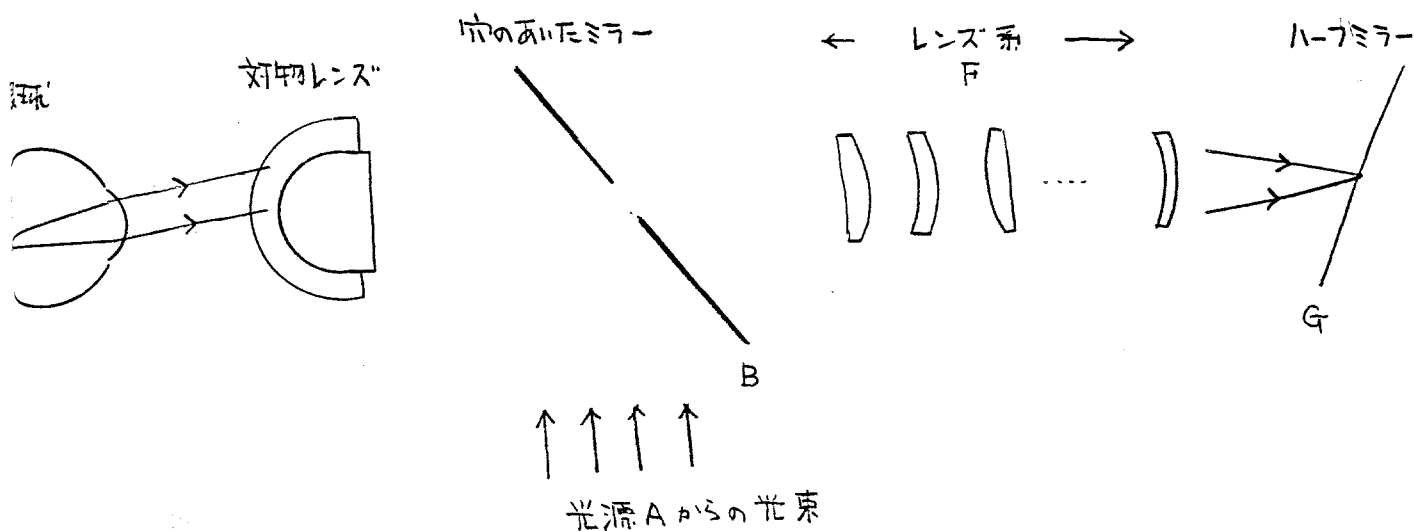


図97. 眼底の反射光はレンズ系を調節することによりミラーの穴を通過してハーフミラーで結像する。この反射光を赤外線カメラでとらえる。図99を参照。

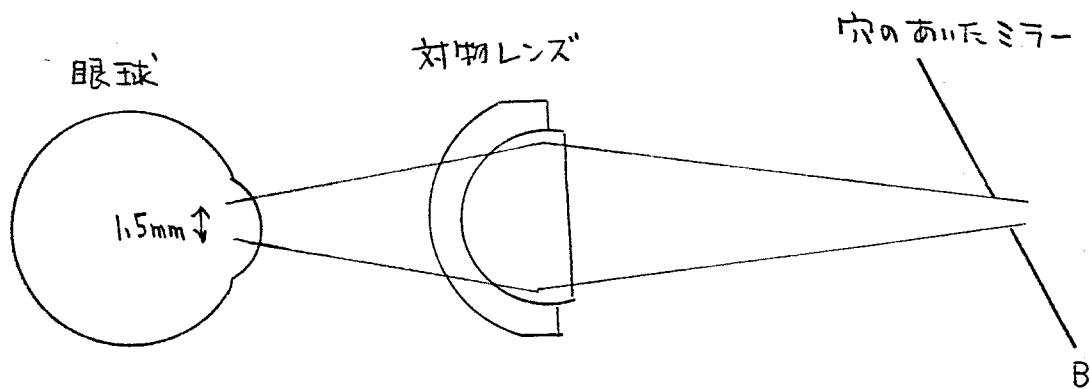


図98. 光源から出た可視光線は穴のあいたミラーを通過し、対物レンズで集光され直径1.5mmの光束で瞳孔を通過する。すなわち Maxwell視である。図99 参照。



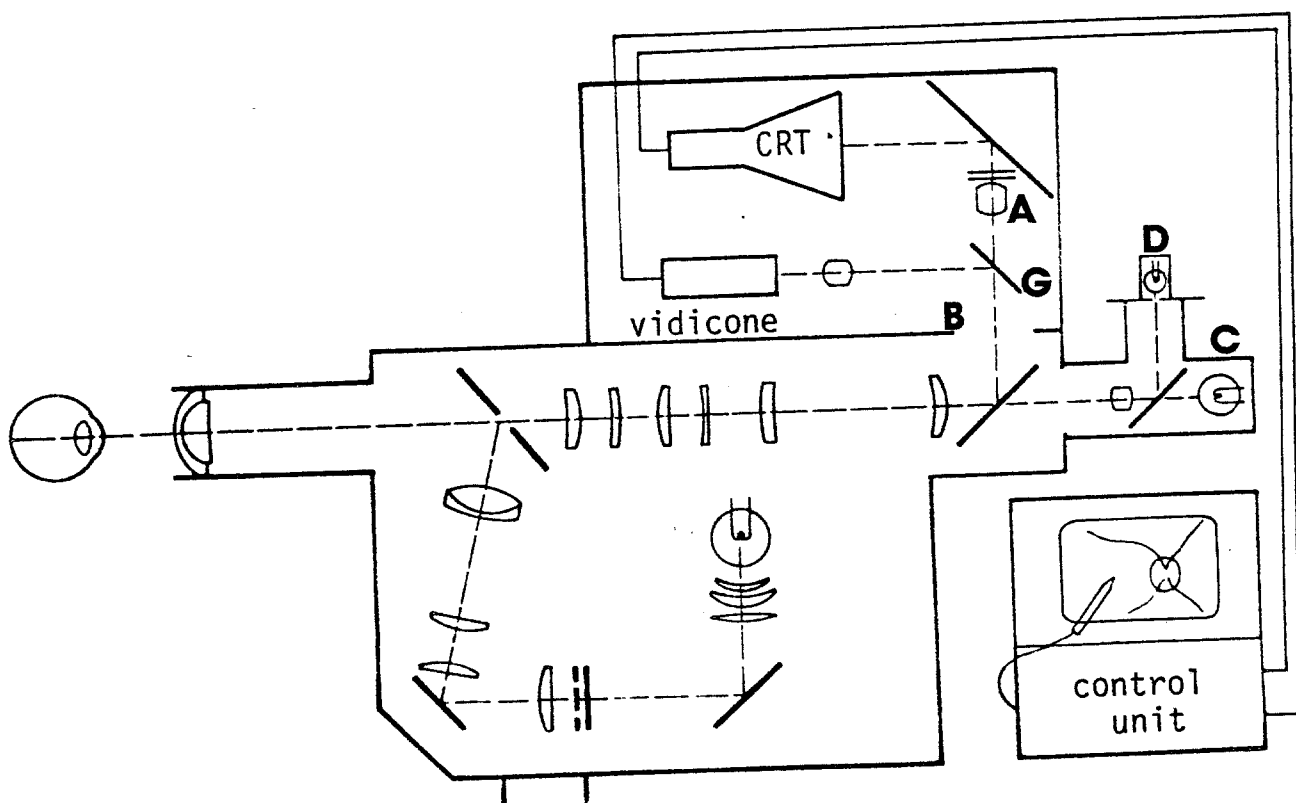
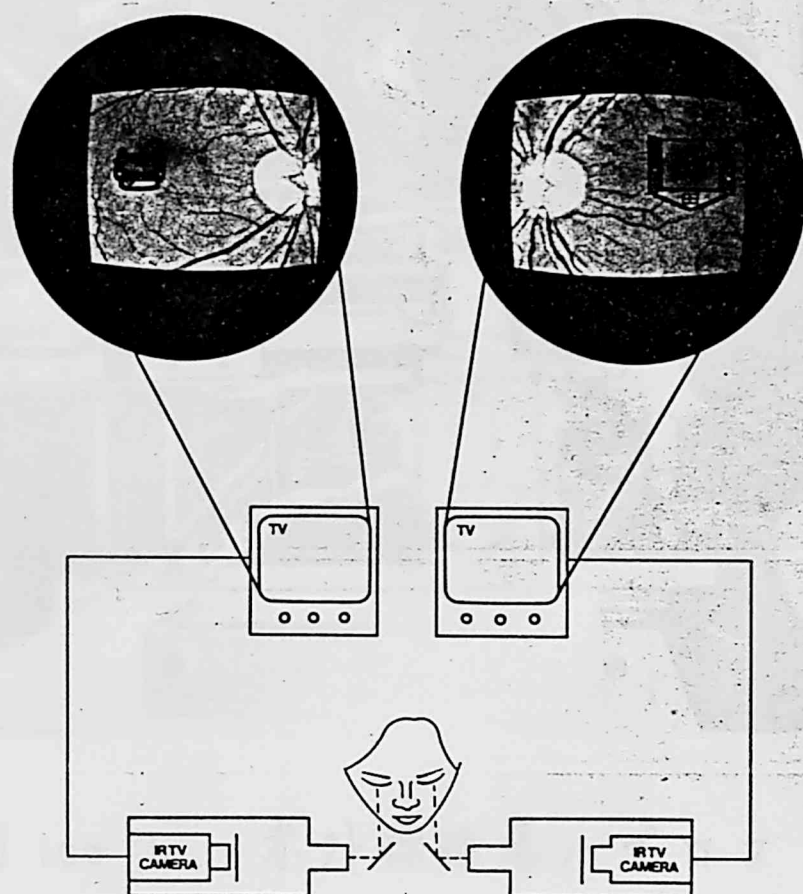


図 99 . 赤外線眼底視野計の概略図

# FUNDUS HAPLOSCOPE



*A new type of HAPLOSCOPE*

図 100 a . 赤外線眼底ハプロスコープ

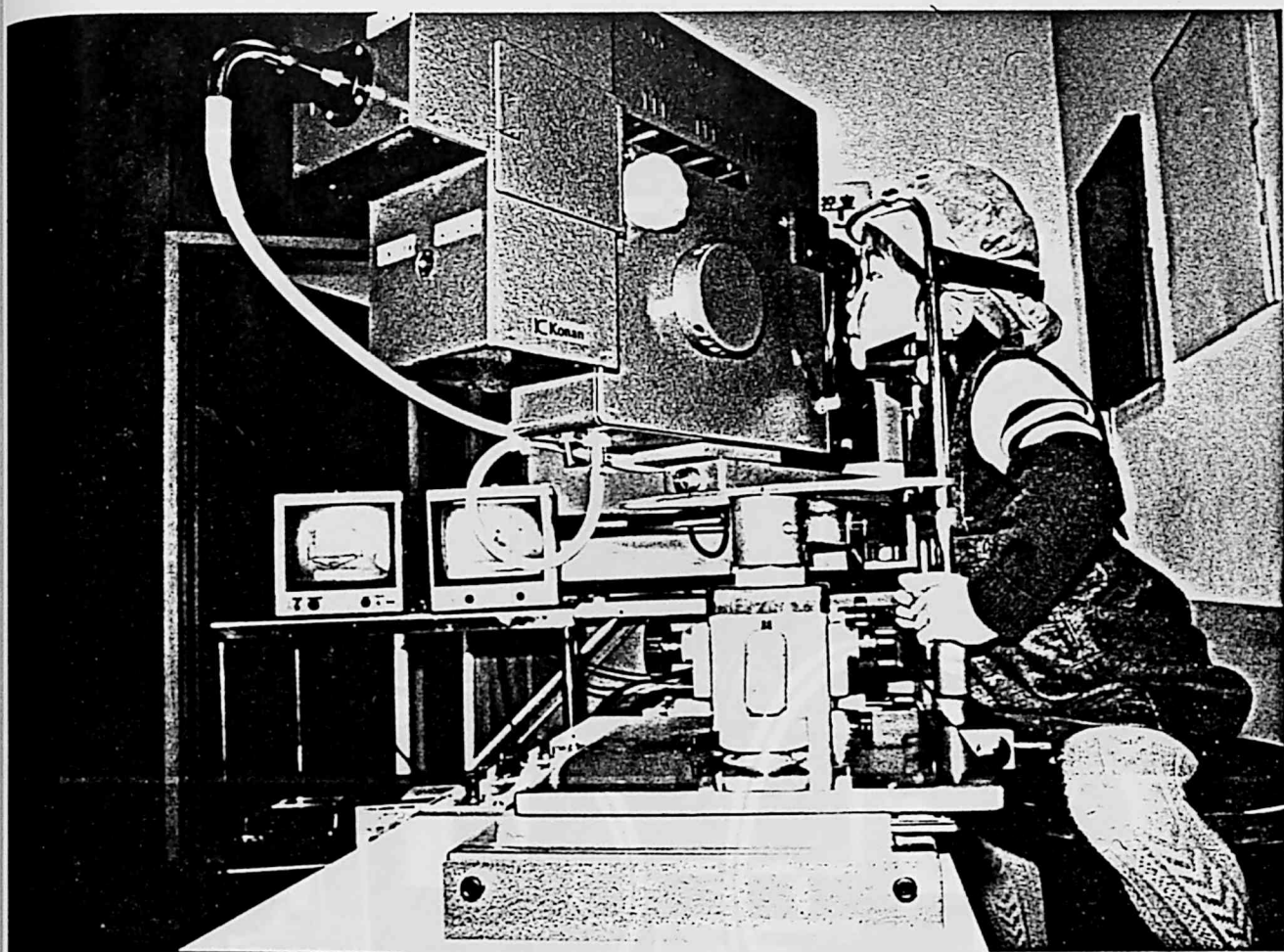


図 100 b . 赤外線眼底ハプロスコープ

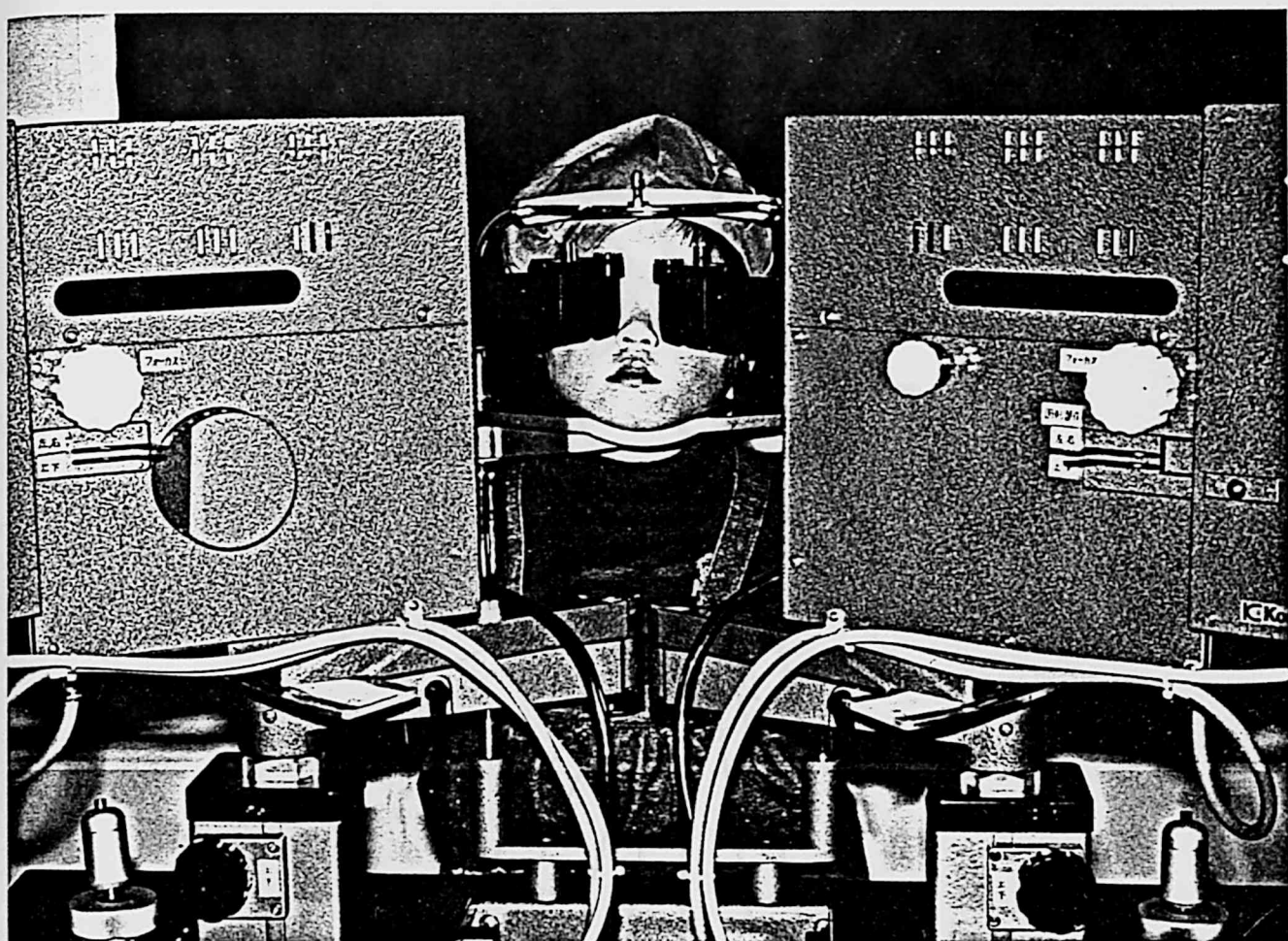


図 100 C . 赤外線眼底ハプロスコープ

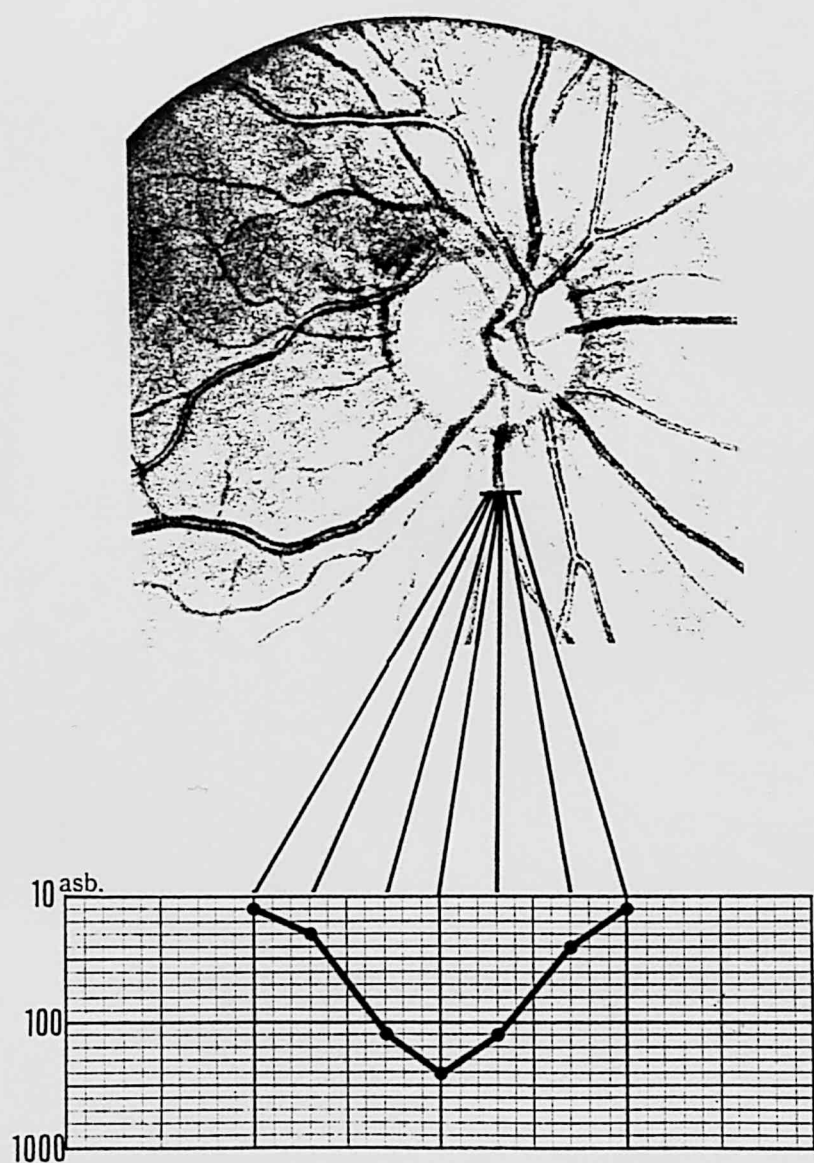


図 101. 血管暗点。血管付近のフカ所における増分閾を下に示す。

表 1. 神経節細胞の分類。T-とえば  $G^-/R^+$   
 17 green off centre, red on surround,  $G^+/R^-$   
 17 green on centre, red off surroundと読む  
 (乾ら. 1981)。

concentric color-opponent 型	$R^+/G^-$ $R^-/G^+$ $R^+/G^-B^-$ $R^-/G^+B^+$ $B^+/R^-G^-$	$G^+/R^-$ $G^-/R^+$ $G^+/R^-B^-$ $G^-/R^+B^+$ $B^-/R^+G^+$	X型の特性を示す  LGB の parvocellular 層へ投射	受容野面積は偏心 度によらずほぼ一 定	midget ganglion
broad-band 型	on/off $R^+G^+/R^-$ $R^-G^-/R^+$ $R^+G^+B^+/R^-B^-$	off/on $R^+G^+/G^-$ $R^-G^-/G^+$	Y型の特性を示す  LGB の magno- cellular 層へ投射	偏心度とともに大 きくなる	不明 (diffuse または stratified diffuse ganglion cell?)

## 表 2

テスト光および抑制刺激に対する閾値の対数値なら  
びに閾値の平方根.

	0°	3°	6°	9°
$\log \Delta I$ (for inhibition stimulus)	1.1	1.23	1.37	1.3
$\log \Delta I$ (for test spot)	1.8	2.2	2.47	2.67
$\sqrt{\Delta I}$ (for test spot)	7.9	12.6	17.2	21.6

(unit: apostilb)

表3. 10名の偏心固視弱視患者の臨床データ

subject	Age	Sex	Visual Acuity and Refractive Error	Strabismus and Monocular Fixation
T.A.	8	F	R : 1.2 L : 0.1X+3.0D○+cyl. 0.5DA.90°	esotropia. 7° nasal
K.I.	13	F	R : 0.1X+4.25D L : 0.9X+4.0D	microtropic esotropia. 5° lower nasal
K.M.	7	M	R : 1.0 L : 0.1X+3.0D○+cyl. 0.5DA.90°	7° esotropia. 1° nasal
T.H.	11	M	R : 1.5 L : 0.08X+3.0D	esotropia. 5° nasal
E.H.	42	F	R : 1.0X+0.75D○+cyl. 1.25DA.180° L : 0.3X+1.25D○+cyl. 2.0DA.180°	esotropia. 4° nasal
S.S.	34	F	R : 1.0 L : 0.03X-0.25D	esotropia. 5° nasal
K.T.	8	F	R : 1.5 L : 0.08X+5.5D	microtropic esotropia. 3° lower
Y.N.	5	F	R : 0.3PX+8.5D○+cyl. 0.5DA.90° L : 0.5X+7.5D○+cyl. 0.5DA.90°	microtropic esotropia. 3° lower temporal
K.S.	8	M	R : 1.0X+1.5D L : 0.2X+2.25D○+1.25DA.90°	esotropia. 3° nasal
H.K.	10	M	R : 2.0X+0.25D L : 0.1X+1.5D○+cyl. 0.5DA.90°	esotropia. 3° nasal



Clinical data on amblyopic subjects

Name	Age (sex)	Present clinical data
H.K.	11 ( M )	microstrabismus, 4° eccentric fixation RV: 1.5, LV: 0.1 (0.1 × S+2.5D $\hat{C}$ -0.5D 180°) unstable fixation
M.H.	27 ( F )	17.5° esotropia, 6° eccentric fixation RV: 0.05 (n.c.), LV: 1.5 steady fixation
J.K.	30 ( F )	7° esotropia, 6° eccentric fixation RV: 0.4 (1.0 × S-2.0D $\hat{C}$ -0.75D 90°) LV: 50cm/n.d., unstable fixation

表 4

表5. 健眼および偏心固視眼における視感度。Aは弱視眼の中心窩。Bは偏心固視点。Cは健眼の中心窩。Dは偏心固視点に対応する健眼の部位を示す。

Name	amblyopic eye		fellow eye	
	A	B	C	D
T.A.	12	16	17	16
K.M.	12	16	18	16
T.H.	6	14	18	14
K.T.	4	8	16	14
Y.N.	14	16	17	15
K.S.	12	14	16	14

Clinical data on subjects of eccentric fixation amblyopia.

Name	Age (Sex)	Fixation locus	Present clinical data	
T.S.	22 (M)	Temporal 6°	RV: 0.02, LV: 0.1 8° exotropia	
M.T.	5 (F)	Nasal 4.25°	RV: 1.0, LV: 0.15 25.7° esotropia	Lack of correspondence
Y.N.	11 (M)	Nasal 4°	RV: (2.0), LV: (0.15) 8° esotropia	
K.S.	17 (F)	Temporal 11°	RV: 0.02, LV: 1.2 20° exotropia	
T.K.	14 (M)	Downward 3.25°	RV: 0.8P, LV: 0.07 7° esotropia	
A.Y.	12 (M)	Nasal 3°	RV: (2.0), LV: (0.09) 3° hypertropia	A.R.C.
N.Y.	7 (F)	Upward 3°	RV: 2.0, LV: 0.15 5° esotropia	

表 6

表7. 網膜神経節細胞密度 ( $D_r$ ), 錐体密度 (cone) と Shannon の標本化定理に基づいて計算された細胞の必要数.

Eccentricity	0°	2°	3°	4°	6°	10°
$D_r$ ( $\text{min}^{-2}$ )	9.2	1.9	1.2	0.8	0.4	0.2
cone ( $\text{min}^{-2}$ )	3.1	0.6	0.45	0.3	0.26	0.18
X-cell ( $\text{min}^{-2}$ )	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Y-cell ( $\text{min}^{-2}$ )	0.3	0.15	0.12	0.09	0.6	0.03

表8. ヒトの皮膚拡大因子

傾斜度 (deg)	0	1.5	4	7.5	14	30
拡大因子 (mm/deg)	7.75	5.25	3.44	2.31	1.24	0.49

表 9. Andriessen と Bouma (1976) から計算した値

subject	J.A.			TvR		
$\phi t$ (deg)	6	12	36	6	12	36
$\rho c$ (deg)	3	5	15	4.2	8.4	23.1
Lc (mm)	7.6	6.9	7.2	10.7	11.5	11.1

表 10.

	Banks et al (1977)			Bouma (1970)	
$\phi t$ (deg)	6	8	10	4.3	7.4
$\rho c$ (deg)	1.3	1.7	2.2	1.45	2.32
Lc (mm)	3.3	3.3	3.5	4.9	4.9

表 11. 50%の正答率を得るのに必要な提示時間

Eccentricity (deg)	1°	1.5°	2°	2.5°
horizontal	21	33	28	61
vertical	35.5	46	53.7	58

(msec.)



表 12. 平衡点の種類と個数

		安定結節点	鞍 点	不安定結節点
(i)	$b-1/a > k$	4	4	1
(ii)	$k > b-1/a > c$	2	2	1
(v)	$c > b-1/a > 0$	2	1	0
(iv)	$0 > b-1/a > -c$	2	1	0
(vi)	$-c > b-1/a$	1	0	0

表 13 ,

認 識	視 覚 失 認 症
物 体 認 識	物 体 認 識
相 貌 認 識	相 貌 認 識
文 字、單 語 認 識	視 覚 失 認 性 失 読
絵、風 景 の 認 識	同 時 失 認

表14. 遮断周波数と顔の同定率。

Cut-off Frequency (cycles/Display)				
20	14	10	8	6
100	92	69	42	8

表15. 網膜色素変性症患者および正常者の臨床データ。

Name	Age (years)	Visual Acuity			
		at 5 m		at 30 cm	
		OD	OS	OD	OS
Y.T. (DPR)	60	0.04 (0.06)	0.2 (0.4)	0.04 (0.2)	0.1 (0.4)*
H.O. (DPR)	54	0.3 (0.5)	0.1 (0.15)	(0.4)	(0.1)
Y.M. (DPR)	64	(0.5)	(0.5)	0.1 (0.1)	0.3 (0.3)
T.T. (normal)	30	1.2	1.2	1.0	1.0
T.N. (normal)	26	1.2	1.2	1.0	1.0
T.T. (normal)	25	1.0	1.0	1.0	1.0

\*The value in parentheses is after full refractive correction

表16. すべての条件に対する PCU の値。

	subject group	stimulus duration (msec)	ISI (msec)	SOA (msec)	PCU (percentage)
Exp.1	A	83	300	383	24
		150	300	450	71
Exp.2	B1	150	50	200	19
	B2	150	100	250	62
	B1	150	133	283	69
	B2	150	217	367	69
	B1 & B2	150	300	450	75
Exp.3	C	150	133 (Mask)	283	70
		150	133 (Blank)	283	66

表 17. Average complexity for each group of MP

4 x 4L	4 x 4H	6 x 6L	6 x 6H
33.65 ( 2.67 )	46.43 ( 2.13 )	48.42 ( 3.01 )	61.08 ( 3.26 )

表18. 使用された MP の特性。

	N.T.	H.V.-S.
3 x 3	10.0 (1.05)	0.27 (0.05)
4 x 4 L	11.1 (1.2)	0.24 (0.02)
4 x 4 H	22.8 (1.2)	0.1 (0.02)
6 x 6 L	21.3 (3.4)	0.19 (0.02)
6 x 6 H	40.7 (3.38)	0.12 (0.02)

表 19.

Learning Curve for each group of MP

3 x 3	$P = 0.9 + 0.1 \cdot (1 - \exp(-3.83 (t - 0.1)))$
4 x 4 L	$P = 0.84 + 0.16 \cdot (1 - \exp(-2.32 (t - 0.1)))$
6 x 6 L	$P = 0.74 + 0.26 \cdot (1 - \exp(-0.1 (t - 1.12)))$
6 x 6 H	$P = 0.63 + 0.37 \cdot (1 - \exp(-0.04 (t - 8.96)))$



表 20. 保持時間と再生率(標準偏差)

Delay (sec)	0	15	30	45
6 × 6 L	0.86 (0.09)	0.87 (0.07)	0.85 (0.08)	0.84 (0.08)
6 × 6 H	0.90 (0.09)	0.91 (0.08)	0.90 (0.12)	0.91 (0.12)

表21 保持時間と再生率 (ITなし)

Delay (sec.)	0.5	1	2	4
4 × 4 L	0.70 (0.04)	0.79 (0.21)	0.85 (0.09)	0.78 (0.08)
4 × 4 H	0.55 (0.03)	0.62 (0.03)	0.63 (0.06)	0.67 (0.14)
6 × 6 L	0.75 (0.03)	0.80 (0.05)	0.76 (0.09)	0.79 (0.06)
6 × 6 H	0.66 (0.10)	0.69 (0.05)	0.69 (0.05)	0.66 (0.08)

表22. 保持時間と再生率 (ITあり)

Delay (sec.)	0.5	1	2	4
4 × 4 L	0.70 (0.11)	0.78 (0.07)	0.69 (0.17)	0.68 (0.12)
4 × 4 H	0.52 (0.13)	0.54 (0.05)	0.56 (0.07)	0.48 (0.05)
6 × 6 L	0.71 (0.03)	0.71 (0.03)	0.66 (0.09)	0.68 (0.03)
6 × 6 H	0.56 (0.06)	0.64 (0.06)	0.62 (0.04)	0.60 (0.05)

表23. 各々の MP に対する分割数

$3 \times 3$	4L	4H	6L	6H
1.8 (0.19)	1.84 (0.29)	2.68 (0.3)	2.86 (0.5)	4.34 (0.96)

表24. 各々の MP に対するランク数

Delay (sec.)	0	15	30	45
6 × 6L	2.3 (0.7)	2.5 (0.5)	2.8 (0.4)	2.5 (0.5)
6 × 6H	2.6 (0.5)	2.9 (0.6)	2.9 (0.6)	2.9 (0.7)

表 25. モデルと実験結果の比較

		Predicted	observed
6 × 6 L	20S 提示	82%	85%
6 × 6 H	50S 提示	86%	90%
6 × 6 H	10S 以下の提示	57%	63%
4 × 4 H	(短期記憶の容量)	88%	87%

表26. 提示時間と再認率

カッコ内は標準偏差を示す

ET(sec.)	3 × 3	4 × 4L	4 × 4H
0.02	0.83 (0.14)	0.88 (0.07)	0.76 (0.14)
0.1	0.95 (0.11)	0.90 (0.16)	0.90 (0.11)
0.5	0.98 (0.05)	0.96 (0.05)	0.95 (0.05)

表 27. 提示時間と再認率。 上段は  
第1実験。下段は第2実験の結果。

ET (sec.)	$6 \times 6 L$	$6 \times 6 H$
0.1	0.6 (0.11)	0.68 (0.19)
0.5	0.7 (0.23)	0.73 (0.13)
2.5	0.75 (0.18)	0.84 (0.13)
1.2	0.75 (0.14)	*
2.4	0.75 (0.13)	0.72 (0.14)
4.8	0.74 (0.17)	0.69 (0.16)
8.96	*	0.72 (0.15)